

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE TRES PERIODOS DE COSECHA EN DOS VARIEDADES DE  
CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO, EN LA LOCALIDAD DE CHUQUIAGUILLO**

**CLETO CONDORI YANARICO**

**La Paz – Bolivia**

**2015**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE TRES PERIODOS DE COSECHA EN DOS VARIEDADES DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO, EN LA LOCALIDAD DE CHUQUIAGUILLO**

Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero Agrónomo

**CLETO CONDORI YANARICO**

**Asesor:**

Ing. Ph. D. José Yákov Arteaga Garcia .....

**Tribunal Examinador:**

Ing. Ph. D. José Bernardo Soliz Guerrero .....

Ing. M. Sc. Félix Rojas Ponce .....

Ing. Bernardo Ticona Contreras .....

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador:**

.....

***DEDICATORIA:***

*A esas personas importantes en mi vida, que siempre  
estuvieron listas para brindarme toda su ayuda,  
ahora me toca regresar un poquito de todo  
lo inmenso que me han otorgado.*

*Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes:*

*Papá Juan*

*Mamá Ernesta*

*A mis Hermanos: Hugo, Irwin y Adelaida*

*Y a mis queridos sobrinos Alan, Marvin, Juan y Adriana.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis más sinceros deseos de gratitud a:

A DIOS, por darme la vida y estar siempre presente en todas mis actividades, guiándome por el camino del bien y ayudándome siempre a levantarme en los momentos más difíciles. Gracias.

A mis padres: Ernesta C. Yanarico Siñani y Juan Condori Cruz, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional.

A la Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, por abrirme las puertas del conocimiento científico y de esta manera darme la oportunidad de estudiar y superarme.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica, por proporcionarme una formación científica y humana, que serán los pilares fundamentales para el desarrollo de mi profesión.

A mi asesor de tesis Ing. Ph. D. José Yákov Arteaga Garcia, por asesorar mi tesis y facilitar todas las herramientas para la elaboración este trabajo.

A los miembros del tribunal revisor: Ing. Ph. D. José Bernardo Soliz Guerrero, Ing. M. Sc. Félix Rojas Ponce, Ing. Bernardo Ticona Contreras; por todas las correcciones, aportes y sugerencias realizadas para la culminación de este trabajo.

A todos mis parientes, amigos y compañeros que estuvieron presente durante toda mi formación.

**¡MUCHAS GRACIAS!**

# ÍNDICE GENERAL

	Página.
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
OBJETIVO GENERAL .....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
HIPÓTESIS .....	13
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 Hidroponía.....	14
2.2 Forraje verde hidropónico (FVH).....	14
2.3 Justificación del uso del FVH .....	15
2.4 Factores que Influyen en la producción de FVH .....	16
2.4.1 Calidad de la Semilla .....	16
2.4.2 Iluminación.....	17
2.4.3 Temperatura .....	17
2.4.4 Humedad relativa.....	18
2.4.5 Calidad del agua para riego.....	18
2.5 Componentes básicos para la producción de FVH .....	21
2.5.1 Semilla.....	21
2.5.2 Desinfectante.....	21
2.5.3 Solución nutritiva .....	21
2.5.4 Recinto .....	24
2.5.5 Estanterías.....	25
2.5.6 Recipientes de cultivo o bandejas de cultivo .....	25
2.5.7 Sistema de riego.....	26

2.6	Proceso de producción de FVH.....	27
2.6.1	Selección de las especies de granos.....	27
2.6.2	Selección de la semilla .....	27
2.6.3	Lavado y desinfección de la semilla .....	28
2.6.4	Pregerminación.....	28
2.6.5	Siembra y densidad .....	29
2.6.6	Germinación .....	29
2.6.7	Riegos .....	30
2.6.8	Cosecha y rendimiento .....	31
2.7	Ventajas y desventajas del FVH .....	32
2.7.1	Ventajas.....	32
2.7.2	Desventajas .....	35
2.8	Estructura de las semillas .....	35
2.9	Fisiología de la germinación.....	36
2.9.1	Letargo de semilla .....	36
2.9.2	Proceso de germinación .....	37
2.9.3	Fotosíntesis .....	38
2.10	Especies forrajeras utilizadas en la producción de FVH .....	38
2.11	Semilla certificada .....	39
2.12	Semilla criolla .....	40
<b>3.</b>	<b>LOCALIZACIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1	Localización .....	41
3.2	Materiales.....	41
3.4.1	Instalación.....	41
3.4.2	Insumos .....	41
3.4.6	Materiales de escritorio.....	41
3.4.5	Materiales de campo .....	42
3.4.6	Materiales de laboratorio .....	42
3.3	Métodos .....	42
3.3.1	Procedimiento experimental .....	42
3.4	Análisis estadístico.....	45

3.4.1 Modelo lineal aditivo .....	46
3.4.2 Tratamientos y unidades experimentales .....	46
3.4.3 Croquis experimental.....	48
3.5 Variables de respuesta.....	48
3.5.1 Variables de respuesta de la 1° fase .....	48
3.5.2 Variables de respuesta de la 2° fase .....	50
3.5.3 Costos de producción .....	51
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>52</b>
4.1 Temperaturas registradas durante el desarrollo de la cebada para forraje verde hidropónico (FVH). .....	52
4.2 Resultados de la 1° fase .....	53
4.2.1 Porcentaje de germinación .....	53
4.2.2 Peso de 1000 granos.....	55
4.2.3 Porcentaje de pureza.....	57
4.2.4 Valor cultural o valor real .....	58
4.3 Resultados de la 2° fase .....	60
4.3.1 Número de días a la germinación .....	60
4.3.2 Número de días a la brotación de las hojas.....	62
4.3.3 Altura de la planta .....	64
4.3.4 Rendimiento de FVH .....	70
4.3.5 Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) .....	75
4.3.6 Porcentaje de materia seca (ms) .....	80
4.4 Costos de producción.....	86
4.4.1 Costos fijos .....	86
4.4.2 Costos variables .....	89
4.4.2 Costo total de producción .....	90
4.4.3 Relación beneficio-costo.....	94
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Número.</b>	<b>Página.</b>
1. Clasificación de la dureza del agua .....	<b>20</b>
2. Solución concentrada "A" .....	<b>22</b>
3. Solución concentrada "B" .....	<b>22</b>
4. Producción de biomasa en cebada hidropónica bajo tres niveles de fertilización.....	<b>23</b>
5. Factores de Estudio de la fase 1 .....	<b>47</b>
6. Factores de Estudio de la fase 2 .....	<b>47</b>
7. Prueba T de student para % de germinación.....	<b>54</b>
8. Prueba T de student para peso de 1000 granos.....	<b>56</b>
9. Prueba T de student para porcentaje de pureza.....	<b>57</b>
10. Prueba T de student para valor real o valor cultural. ....	<b>59</b>
11. Prueba T de student para número de días a la germinación. ....	<b>60</b>
12. Prueba T de student para Número de días a la brotación de las hojas. ....	<b>62</b>
13. Análisis de varianza para altura de la planta. ....	<b>64</b>
14. Prueba Duncan para altura de la planta en función de las Variedades. ....	<b>65</b>
15. Prueba Duncan para altura de la planta en función de los periodos de Cosecha.....	<b>67</b>
16. Análisis de varianza para rendimiento de FVH. ....	<b>70</b>
17. Prueba Duncan para rendimiento de FVH en función de las Variedades. ....	<b>71</b>
18. Prueba Duncan para rendimiento de FVH en función de los periodos de cosecha. ....	<b>73</b>
19. Análisis de varianza para relación de conversión de semilla a forraje (RCS).....	<b>76</b>
20. Prueba Duncan para relación de conversión de semilla a forraje en función de las variedades. ....	<b>77</b>
21. Prueba Duncan para relación de conversión de semilla a forraje en función de los periodos de cosecha. ....	<b>78</b>
22. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca.....	<b>81</b>



<b>23.</b> Prueba Duncan para porcentaje de materia seca en función de las variedades. ....	<b>82</b>
<b>24.</b> Prueba Duncan para porcentaje de materia seca en función de los periodos de cosecha. ....	<b>83</b>
<b>25.</b> Análisis de varianza de efectos simples para porcentaje de materia seca. ....	<b>85</b>
<b>26.</b> Costos fijos para la producción de FVH (Bs/ m <sup>2</sup> ) (vida útil 5 años).....	<b>87</b>
<b>27.</b> Costos fijos de amortización (bs/m <sup>2</sup> / cosecha). ....	<b>88</b>
<b>28.</b> Costos variables por metro cuadrado por cada cosecha en los diferentes tratamientos. ....	<b>89</b>
<b>29.</b> Costos total de producción de FVH en (bs y \$us /m <sup>2</sup> /cosecha). ....	<b>90</b>
<b>30.</b> Costos de producción por cada kilogramo de forraje obtenido en función del rendimiento de cada tratamiento. ....	<b>92</b>
<b>31.</b> Relación Beneficio-Costo en los diferentes tratamientos.....	<b>94</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Número.</b>	<b>Página.</b>
1. Croquis experimental de la 1° fase y la 2° fase. ....	48
2. Temperaturas registradas durante el desarrollo del FVH. ....	52
3. Porcentaje de germinación de las variedades de cebada.....	54
4. Peso de 1000 granos de las variedades de cebada. ....	56
5. Porcentaje de pureza de las variedades de cebada. ....	58
6. Porcentaje de valor cultural o real de las variedades de cebada.....	59
7. Número de días a la germinación de las variedades de cebada. ....	61
8. Número de días a brotación de las hojas de las variedades de cebada.....	63
9. Altura de la planta en función de las variedades de cebada.....	65
10. Altura de la planta en función de los periodos de cosecha. ....	67
11. Altura de la planta en los diferentes tratamientos. ....	69
12. Rendimiento en función de las variedades. ....	71
13. Rendimiento en función de los periodos de cosecha.....	73
14. Rendimiento de FVH en los diferentes tratamientos.....	75
15. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de las variedades. ....	76
16. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de los periodos de cosecha.....	78
17. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en los diferentes tratamientos. ....	80
18. Porcentaje de materia seca en función de las variedades.....	81
19. Porcentaje de materia seca en función de los periodos de cosecha .....	83
20. Análisis de efectos simples del porcentaje de materia seca. ....	86
21. Costos fijos de amortización por metro cuadrado y por cosecha en los diferentes tratamientos. ....	88
22. Costos variables (bs/m <sup>2</sup> /cosecha) en los diferentes tratamientos.....	90
23. Costos de producción de 1 m <sup>2</sup> de FVH cosechado, en los diferentes tratamientos. ....	91
24. Costo de producción de 1 kg de FVH en función del rendimiento obtenido en los diferentes tratamientos.....	93

## RESUMEN

En los últimos años, en el Estado Plurinacional de Bolivia, algunas localidades se han visto afectadas debido a las sequías prolongadas que ocasiono pérdidas de ganado por la escasez de forraje y agua; ante esto, países que viven bajo la misma problemática han optado por producir forraje verde hidropónico (FVH) con el fin de mitigar estos problemas; con este sistema es posible programar el cultivo y cosecha en épocas de escasez, además de cultivarse en climas adversos y en cualquier localidad geográfica, sin necesidad del suelo.

En el presente trabajo, se evaluó tres periodos de cosecha en dos variedades de cebada para la producción de FVH, en una localidad que está situada a 4178 m.s.n.m., donde se tuvo dos factores; el primer factor: constituido por dos variedades, donde se trabajó con la variedad Criolla y la variedad IBTA-80, de las cuales la primera provenía de semilla no certificada y la otra de semilla certificada, este factor se estudió con el fin de determinar la importancia productiva y económica que se tiene al utilizar estas semillas en la producción de FVH; el segundo factor: periodos de cosecha, donde se hizo la cosecha a los 15 días, 20 días y 25 días, este factor se estudió con el fin de determinar el periodo de mayor productividad.

Para los análisis estadísticos se utilizó la prueba T de student para comparación de dos muestras independientes con un nivel de significancia de 0.05, para transformar los datos de porcentaje se utilizó el método angular arcoseno de la raíz cuadrada, también se hizo uso del diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, asimismo para realizar la prueba de comparaciones múltiples de medias de las variables que resultaron diferencias significativas o altamente significativas se usó la prueba de rango múltiple de Duncan (5%).

La investigación se dividió en dos fases, en la fase 1, se realizó el análisis de la calidad de la semilla de las dos variedades, donde las semillas de la variedad

IBTA-80 resultaron tener mayor calidad con respecto a las semillas de la variedad Criolla, sin embargo los valores de calidad de las semillas de la variedad Criolla se encontraron dentro de los valores aceptables para la producción de FVH.

En la fase 2 se evaluó la productividad del FVH en función de las variedades y los periodos de cosecha; en las variedades, la variedad IBTA-80 presento mayores valores productivos en algunos parámetros como precocidad en la germinación y emergencia, rendimiento de FVH y relación de conversión de semilla a forraje, sin embargo la variedad Criolla presento mayores valores productivos en altura de la planta y porcentaje de materia seca; mientras que, en los periodos de cosecha, de acuerdo a los parámetros productivos obtenidos en la investigación el mejor periodo de cosecha fue a los 20 días, tomándose en cuenta la infraestructura y la localidad en donde se realizó esta investigación.

En el análisis de costos de producción se observó que para producir FVH con semilla certificada, el costo de producción por cada metro cuadrado es dos veces más, que para producir FVH con semilla no certificada, asimismo, de acuerdo a los rendimientos obtenidos, el costo para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad Criolla a los 20 días es de 1,5 bs; mientras que para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad IBTA-80 en los mismos 20 días es de 2,5 bs.

En cuanto a la relación Beneficio-costos (R/C), producir FVH de cebada de la variedad Criolla (semilla no certificada) es factible debido a que se obtienen ganancias a diferencia de la variedad IBTA-80 (semilla certificada) con la que no se tienen ganancias, a todo lo mencionado el mejor B/C es de 1,64 el cual se obtiene con el tratamiento 2 que es FVH de cebada de la variedad Criolla producido a los 20 días.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, algunas localidades del Estado Plurinacional de Bolivia, se han visto afectadas debido a la prolongación de las sequías, las cuales se han incrementado significativamente a consecuencia del cambio climático. Asimismo, en gestiones pasadas se pudo evidenciar que las sequías son problemas recurrentes, ya que se presentan casi todos los años, y que además de afectar a los pobladores en general, también afectan drásticamente a los productores que se dedican a la crianza de animales, en especial a los que tienen como principal fuente de alimentación las pasturas naturales.

En la gestión 2014, 32 municipios del estado plurinacional de Bolivia se declararon en estado de emergencia por la sequía, donde los afectados fueron 7.000 familias que perdieron entre ganado camélido y vacuno.

A todo esto, una de las soluciones que se están aplicando en países que viven bajo la misma problemática, es la producción de “forraje verde hidropónico” (FVH). A pesar de que el FVH no es novedoso, con este procedimiento es posible programar el cultivo y cosecha de forraje, sobre todo en fechas en las cuales éste es escaso. Además, el FVH se puede cultivar en climas adversos, en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, sin necesidad del suelo.

Este sistema consiste básicamente en germinar semillas que generalmente son cereales, las cuales al ser sembradas a altas densidades y en condiciones adecuadas dan como resultado forraje producido en un corto periodo. Este forraje es apto para varias especies ganaderas como vacuno, camélido, caprino, ovino, aves, equinos, etc.

Actualmente se tiene importantes investigaciones acerca de la producción de FVH; sin embargo, estas investigaciones responden más a zonas con características diferentes a las zonas del altiplano, el cual presenta un ecosistema

de alta montaña situada en altitudes por encima de los 3800 m.s.n.m. donde se tienen temperaturas ambientales extremas.

En varios trabajos se afirma que el periodo óptimo de cosecha se encuentra entre los 9 y 12 días, sin embargo existen pocos trabajos de investigación realizados en condiciones de altiplano donde se mencionan periodos de cosecha de 15 a 25 días, razón por la cual se vio la necesidad de evaluar los periodos de cosecha de FVH de cebada en una localidad que se encuentra a 4178 m.s.n.m. con el fin de validar un periodo óptimo de cosecha en estas condiciones.

Asimismo varias fuentes aseveran que uno de los factores importantes en la producción de FVH es la calidad de la semilla, ya que si se cuenta con semilla de alta calidad, la productividad de FVH será buena. A todo esto se sabe que la semilla certificada asegura una semilla de alta calidad sin la necesidad de realizar análisis previos, sin embargo el costo de esta semilla es más costosa que la semilla no certificada.

Al respecto, algunos autores mencionan que es probable que se pueda obtener altas utilidades con el uso de semilla no certificada para cultivar FVH, puesto que las semillas certificadas son caras.

Es por este motivo que en este trabajo también se vio la necesidad de evaluar dos variedades de cebada para la producción de FVH, las cuales fueron: la variedad Criolla y la variedad IBTA-80; la primera provino de semilla no certificada y por lo tanto el costo de esta semilla es bastante económico con relación a la segunda que provino de semilla certificada. Este factor se estudió con el fin de determinar la importancia productiva y económica que se tiene al utilizar estas semillas en la producción de FVH.

Cabe mencionar que se eligieron las semillas de estas variedades debido a que son las más accesibles en esta localidad, puesto que varias fuentes mencionan

que para la producción de FVH se debe utilizar semillas que se encuentran disponibles en el lugar.

De acuerdo a todo lo mencionado, el presente trabajo de investigación persigue los siguientes objetivos:

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar tres periodos de cosecha en dos variedades de cebada para la producción de forraje verde hidropónico.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar la calidad de la semilla de dos variedades de cebada para la producción de forraje verde hidropónico.

Evaluar los periodos de cosecha y las variedades de cebada para una mayor productividad de forraje verde hidropónico en condiciones de altiplano.

Analizar los costos de producción de forraje verde hidropónico en los diferentes tratamientos.

### **HIPÓTESIS**

- No existen diferencias significativas en la calidad de la semilla, la productividad, ni en los costos de producción entre las variedades utilizadas así como también entre los periodos de cosecha para la producción de forraje verde hidropónico,

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Hidroponía**

Gonzáles (2006), menciona que la hidroponía es el arte de cultivar plantas sin el uso de suelo. El mismo autor, indica que la palabra “hidroponía” está compuesta de dos palabras de origen griego: “hidro” que viene de la palabra griega hydro, que significa “agua” y “ponía”, que viene de ponos que significa “trabajo”, por lo que su significado sería “trabajo en agua”.

Por su parte, Alpízar (2004) explica que la hidroponía es una técnica para producir cultivos sin suelo, suministrando los nutrientes necesarios a través del agua, lográndose obtener productos con rápido desarrollo y buena sanidad.

En un sistema hidropónico se puede cultivar todo tipo de plantas como por ejemplo: hortalizas, flores, forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales y hasta cactus (FUNDACIÓN UNAM, 2014).

### **2.2 Forraje verde hidropónico (FVH)**

El FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía (FAO, 2001). El mismo autor expresa que: “el FVH es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas viables.

Por su parte, Tarrillo (2005) explica que el FVH es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz, sorgo, cebada, alfalfa, etc.) realizado durante un período corto (9 a 15 días), captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva, sin uso de ningún sustrato. El



animal consume absolutamente todo, o sea, el tallo, las hojas verdes, los restos de semilla y la raíz.

Según Aquino (2010), en zonas de altura como el altiplano, la producción de FVH se realiza en periodos de 15 a 22 días. Por su parte Álvarez (2011), indica que en ecosistemas de alta montaña situados en altitudes por encima de los 3800 m.s.n.m., donde la temperatura ambiental mínima del día alcanza a los -3°C y la máxima llega a los 21°C, la cosecha se realiza entre los 18 a 25 días.

Asimismo, la FAO (2001) menciona que se puede producir FVH en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias

### **2.3 Justificación del uso del FVH**

Para Dosal (1987) citado por Mendoza (2009), el FVH representa una alternativa de suplementación para el ganado en zonas de ganadería extensiva donde la época seca es prolongada y acentuada.

Arano (1998), recomienda la producción de FVH para la alimentación de ganado bajo las siguientes circunstancias:

- Cuando los pastizales son pobres o no existen.
- En zonas áridas o ubicadas en una latitud extrema.
- En tierras inadecuadas, pobres y de campos deficientes o tierras costosas.
- Para reducir el excesivo desgaste de los animales por caminatas extensas.

- Cuando se destina la tierra fértil a actividades de mayor rédito económico.
- En periodos de necesidad de forrajes como en una emergencia ambiental.

## **2.4 Factores que Influyen en la producción de FVH**

FAO (2001), considera que los siguientes factores son los más importantes ya que condicionan el éxito o fracaso de la producción de FVH:

### **2.4.1 Calidad de la Semilla**

Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. El usar semillas más baratas, o cultivares desconocidos, puede constituir una falsa economía, por lo tanto hacer fracasar el nuevo emprendimiento (FAO, 2001).

Marulanda e Izquierdo (1998) citado por Mendoza (2009), establecen que el porcentaje mínimo de germinación de la semilla debe ser de 70 - 75%; además que debe estar limpia y que el lote no debería contener semillas partidas ni semillas de otros cultivares comerciales, ni tampoco se puede utilizar semillas tratadas con insecticidas o fungicidas

Por otra parte, Aquino (2010) dice que no se recomienda el uso de semilla certificada por el alto costo que representa frente a la semilla de origen artesanal, estas semillas deben tener un buen porcentaje de germinación para evitar pérdidas en la producción de FVH. Deben estar libres de piedras, pajas, tierra, semillas partidas y semillas de otras plantas.

## **2.4.2 Iluminación**

FAO (2001), advierte que si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es esencial para el crecimiento vegetal, sin embargo se debe tomar en cuenta un buen manejo de la luz en los diferentes estados de desarrollo de la planta.

Aquino (2010), sugiere que durante la germinación de las semillas, la presencia de luz del sol no es necesaria, hasta el séptimo día las bandejas deben estar en ambiente oscuro, pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir del octavo día, las bandejas son expuestas a la luz del sol, para realizar la fotosíntesis, pero nunca directamente a la luz solar, porque puede producir una mayor evapotranspiración y quemaduras de las puntas de las hojas. Para evitar esto se debe utilizar una malla de semi-sombra entre 50% a 70%.

## **2.4.3 Temperatura**

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, ello implica efectuar un debido control sobre la misma (FAO, 2001).

Para Aquino (2010), el rango óptimo para la producción de granos de cebada y avena está entre los 15°C y 30 °C. Asimismo indica que la temperatura debe mantenerse lo más constante posible ya que temperaturas bajas retardan el crecimiento, y temperatura altas en combinación con una alta humedad puede causar problemas fitosanitarios como la aparición de hongos.

Samperio (1997) citado por Gómez (2007), menciona que la temperatura controla la velocidad de crecimiento de las plantas. Al aumentar la temperatura, los procesos químicos se aceleran, estos procesos en las plantas están regulados por

encimas que actúan dentro de rangos de temperatura. Por encima y debajo de estos rangos, la actividad enzimática empieza a deteriorarse y esto causa que los procesos químicos ocurran más lento o se detengan.

Palomino (2008), sugiere que es necesario tener instalado un termómetro de máxima y mínima para el control diario de temperaturas y detectar rápidamente posibles problemas debido a variaciones del rango óptimo de la misma.

#### **2.4.4 Humedad relativa**

Para Aquino (2010), El agua es otro de los factores más importante en la producción de FVH. La humedad que necesita la planta se le proporciona mediante el riego. El rango óptimo de la humedad relativa oscila entre 60% y 80%.

Entre tanto, la FAO (2001) advierte que valores superiores al 90% sin buena ventilación en el ambiente, pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas. La situación inversa (excesiva ventilación) provoca la desecación del ambiente y disminución significativa de la producción por deshidratación del cultivo.

El mismo autor, recomienda compatibilizar la cantidad de humedad relativa con la temperatura óptima ya que es una de las claves para lograr una exitosa producción de FVH.

#### **2.4.5 Calidad del agua para riego**

Para la FAO (2001), la condición básica del agua para riego en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, tendremos problemas sanitarios y nutricionales con el FVH, razón por la cual la calidad del agua no puede ser descuidada.

La misma fuente, señala que en el caso en que la calidad del agua no sea la más conveniente, será imprescindible el realizar un detallado análisis químico de la misma, y en base a ello reformular nuestra solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, decantación, asoleo, acidificación o alcalinización).

Ramos (1999) citado por FAO (2001), establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a: i) contenido en sales y elementos Fito-tóxicos (sodio, cloro y boro); ii) contenido de microorganismos patógenos; iii) concentración de metales pesados; y iv) concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.

#### **2.4.5.1 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica del agua (CE) nos indica cual es la concentración de sales en una solución. En nuestro caso, nos referiremos siempre a la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Su valor se expresa en mili-Siemens por centímetro (mS/cm) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. (Ramos, 1999 citado por FAO, 2001).

La misma cita, dice que en términos físico-químicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar nuestra solución de riego.

Asimismo, la misma cita establece que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua, estos últimos parámetros son relacionados a la dureza del agua.

### 2.4.5.2 Dureza del agua

La cantidad de carbonatos de Calcio y Magnesio presentes en el agua determinan la “dureza del agua” (Ramos, 1999). En el cuadro 1, se da la clasificación del agua según su dureza.

**Cuadro 1. Clasificación de la dureza del agua**

<b>Tipos de agua</b>	<b>Cantidad de CaCO<sub>3</sub> (mg/l)</b>
Agua blanda	≤ 17
Agua levemente dura	18-60
Agua dura	61-120
Agua moderadamente dura	121-180
Agua muy dura	>180

Fuente: U.T.M. (2012).

Si se utiliza una concentración normal de nutrientes con agua dura de acuerdo con Rodríguez (1982), los niveles de calcio y magnesio serán tan altos que el nutriente se desbalanceará. Otro problema adicional con el bicarbonato es que muestra un pH alcalino, y cuando se encuentra en la solución nutritiva el pH se incrementará por encima del rango recomendado.

### 2.4.5.3 pH

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7 (FAO, 2001).

### 2.4.5.4 Contenido de microorganismos patógenos

La norma bacteriológica de calidad establece que el agua debe estar exenta

de patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que son los responsables de transmitir enfermedades como salmonelosis, shigelosis, amebiasis, etc. (OPS, 1998 citado por Mendoza, 2009).

## **2.5 Componentes básicos para la producción de FVH**

### **2.5.1 Semilla**

Aquino (2010), menciona que la semilla es un elemento imprescindible con el que se debe contar para la producción de FVH. Recomienda el uso de semillas locales, sin descuidar la calidad de la semilla.

### **2.5.2 Desinfectante**

El desinfectante es otro de los elementos básicos con el que se debe contar para la producción de FVH. El uso del desinfectante tiene por objeto eliminar cualquier patógeno como hongos y bacterias que se pudieran encontrar tanto en la semilla como en los recipientes de siembra (Santander, 2006).

### **2.5.3 Solución nutritiva**

Según Hidalgo (1985); Dosal (1987) citados por la FAO (2001), es posible cultivar FVH sin el uso de una solución nutritiva, sin embargo su uso ayuda a mejorar el rendimiento y la calidad nutritiva del FVH, además indican que el uso de fertilización en la producción de FVH resulta positiva como para recomendar su uso.

Una de las soluciones nutritivas clásicas utilizadas en FVH, es la fórmula FAO, se prepara a través de una mezcla de soluciones nutritivas madres o concentradas, llamadas "A" y "B". Las sales y las cantidades necesarias para preparar la Solución "A" se observan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Solución concentrada “A”**

<b>Sal mineral</b>	<b>Cantidad</b>
Fosfato Mono Amónico	340 gramos
Nitrato de Calcio	2080 gramos
Nitrato de Potasio	1100 gramos

Fuente: Marulanda e Izquierdo (1998).

Estas cantidades se diluyen en agua potable, hasta alcanzar los 10 litros. Es conveniente que el agua a utilizar este entre los 21° y 24°C dado que la disolución es más rápida y efectiva. Las sales se van colocando y mezclando en un recipiente de plástico de a una y por su orden para obtener la Solución Concentrada “A”. Las sales necesarias para preparar la solución “B” se encuentran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Solución concentrada “B”**

<b>Sal mineral</b>	<b>Cantidad</b>
Sulfato de Magnesio	492 gramos
Sulfato de Cobre	0,48 gramos
Sulfato de Manganeso	2,48 gramos
Sulfato de Zinc	1,20 gramos
Ácido Bórico	6,20 gramos
Molibdato de Amonio	0,02 gramos
Quelato de Hierro	50 gramos

Fuente: Marulanda e Izquierdo (1998).

La dilución se hace también con agua, pero hasta alcanzar un volumen final de 4 litros de solución. Para el mezclado de las sales usamos las mismas recomendaciones que para el primer caso.

Una vez que tenemos las 2 soluciones, procedemos al tercer paso que es preparar la solución de riego final o solución nutritiva. Debemos recordar la recomendación de no mezclar las soluciones A y B sin la presencia de agua. Esto



significa que primero agregamos el agua, luego la Solución “A”, revolvemos muy bien, y finalmente agregamos la Solución “B”.

El no cumplimiento de este simple paso, ha llevado en un número muy grande de casos al fracaso de los cultivos, así como a la generación de grandes problemas técnicos. El proceso para la elaboración de la solución nutritiva con destino a la producción de FVH finaliza de la siguiente forma:

- Por cada litro de agua se agregan 1,25 cc de solución “A” y 0,5 cc de solución “B”.

Por su parte, Aquino (2010) realizó un experimento donde utilizó orina humana fermentada como fertilizante orgánico. En el cuadro 4 se muestra los resultados que obtuvo:

**Cuadro 4. Producción de biomasa en cebada hidropónica bajo tres niveles de fertilización**

<b>Nivel de abonamiento</b>	<b>Tiempo de cosecha</b>	<b>Promedio de biomasa producida (kg MS/m<sup>2</sup>)</b>
Solo agua	15 días	3,63 Kg MS/m <sup>2</sup>
10:1*	15 días	3,97 Kg MS/m <sup>2</sup>
3:1**	15 días	5,09 Kg MS/m <sup>2</sup>
<b>*10:1=relación de 10 de agua con una de orina fermentada</b> <b>**3:1=relación de 3 de agua con una de orina fermentada</b>		

Fuente: Aquino (2010).

Como se puede apreciar en el cuadro 4, Aquino (2010) encontró los mejores resultados en biomasa producida de FVH cuando utilizó la relación 3:1 (agua: orina fermentada) con un rendimiento de 5,09 kg de MS/rn<sup>2</sup>, seguido por la relación 10:1 (agua: orina fermentada) con 3,97 kg MS/rn<sup>2</sup>, y para la relación solamente con agua se obtuvo un rendimiento de 3,63 kg MS/rn<sup>2</sup>.

#### **2.5.4 Recinto**

Gutiérrez *et al.* (2000) citado por Gómez (2007), señala que el recinto deberá construirse de acuerdo con la cantidad de forraje que se quiera producir diariamente, asimismo, asevera que 4 m<sup>2</sup> son suficientes para producir 15 kg de FVH por día.

La FAO (2001), menciona que existe un amplio rango de posibilidades para las instalaciones que va desde aquellas más simples construidas artesanalmente, hasta sofisticados modelos digitalizados. Las instalaciones pueden ser clasificadas según sea su grado de complejidad en:

##### **2.5.4.1 Instalaciones populares**

Consisten en una estructura artesanal compuesta de palos o cañas (bambú o tacuara), revestida de plástico transparente común. El piso es de tierra y las estanterías para la siembra y producción del FVH son construidas con palos, cañas y restos de madera de envases o desechos de aserraderos; La altura de las estanterías, debido a la calidad de los materiales de construcción, no sobrepasa los 3 pisos. En casos muy particulares se alcanzan cuatro niveles de bandejas (FAO, 2001).

##### **2.5.4.2 Estructuras o recintos en desuso.**

Para Marulanda e Izquierdo (1998), son instalaciones industriales en desuso, antiguos criaderos de pollos, galpones vacíos, viejas fábricas, casas abandonadas, etc. Los rendimientos en este tipo de instalaciones suelen ser superiores a las instalaciones populares por el mejor control ambiental logrado y el mayor número (hasta 7) de pisos de producción. Estas instalaciones se están volviendo cada vez más comunes en los países de América Latina.

### **2.5.4.3 Estructuras modernas o de alta tecnología.**

Son “containers” cerrados, totalmente automatizadas y climatizadas. Las instalaciones de este tipo pueden ser de construcción de albañilería hecha en el lugar, prefabricadas o importadas directamente como unidades de producción o “fábricas de forraje” (FAO, 2001).

Por otra parte, Gallardo (1997) mencionado por Quispe (2013), señala que el ambiente adecuado de producción para hidroponía en el altiplano es el “Utayapu”, que en el idioma Aymara significa “casa de siembra”, ambiente diseñado para un piso ecológico frío como el altiplano Boliviano, que tiene una variación de temperaturas a lo largo del año, este ambiente mantiene una temperatura casi estable que oscila entre los 16 a 18°C, en todo el año.

Por su parte, Aquino (2010) propone la construcción del invernadero “modelo andino modificado”, ya que en este tipo de instalación el FVH puede crecer independientemente de las condiciones climáticas externas.

### **2.5.5 Estanterías**

Comprende la estructura donde se acomodan los recipientes de cultivo o bandejas, puede ser de madera o de metal. Generalmente se construyen módulos de 4 a 6 niveles, separados entre sí por calles de 1 m. para facilitar las labores de siembra, cosecha y aseo. Los niveles están separados entre sí 50 cm y el primer nivel dista 30 cm desde el suelo, cada nivel debe tener una pendiente del 10% para drenar la solución sobrante de las bandejas. (Gutiérrez *et al.*, 2000 citado por Gómez, 2007).

### **2.5.6 Recipientes de cultivo o bandejas de cultivo**

Los recipientes de cultivo, pueden ser de diferentes materiales, como fibra

de vidrio lámina galvanizada, madera pintada, madera forrada con plástico y bandejas de plástico, sus medidas varían de 40 a 60 cm de ancho y 80 a 120 cm de largo y una profundidad de 2 a 5 cm (FAO, 2001).

Por su parte, Aquino (2010) propone utilizar bidones desechables de aceite de capacidad de 5 litros. El mismo autor, explica que los bidones deben ser cortados por la mitad, utilizando una sierra mecánica o cuchillo caliente. Estas bandejas presentan un largo de 30 centímetros por 15.5 centímetros de ancho, con una altura de 7 cm., que ocupa un área de 0.046 m<sup>2</sup>.

### **2.5.7 Sistema de riego**

Es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarle los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador automático de riego (González, 2014).

Un sistema de riego tradicional, por lo general consta de una bomba, un tanque de almacenamiento, tubos y mangueras de distribución, ya sea para regar por micro aspersores o con atomizadores por aspersion. Cuando no hay recursos se hará con una manguera o con una mochila de mano (Pérez, 1999 citado por Navarrete, 2008).

Por su parte, González (2014) menciona que el movimiento del agua en un sistema de riego puede ser realizado con la ayuda de la gravedad o mediante una motobomba.

## **2.6 Proceso de producción de FVH**

### **2.6.1 Selección de las especies de granos**

La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir. La producción de FVH utilizando semillas de alfalfa no es tan eficiente como con los granos de gramíneas debido a que su manejo es muy delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional de forraje (FAO, 2001).

Por las condiciones del altiplano y la zona alto andina, Aquino (2010), recomienda utilizar granos de cebada o avena por ser conocida y producida en la zona por los productores.

### **2.6.2 Selección de la semilla**

En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local (FAO, 2001).

Por su parte, Aquino (2010) no recomienda el uso de semilla certificada por el alto costo que representa frente a la semilla de origen artesanal. Estas semillas deben tener un buen porcentaje de germinación, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales para evitar pérdidas en la producción de FVH. Deben estar libres de piedras pajas, tierra, semillas partidas, semillas de otras plantas y fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con agroquímicos.

Para Santander (2006), las semillas no certificadas son las ideales porque no son costosas, deben proveer de lotes limpios y estar libres de maleza, no se debe utilizar semilla tratada con fungicidas, debe tener una humedad del 12%.

### **2.6.3 Lavado y desinfección de la semilla**

Gutiérrez *et al.* (2000) citado por Gómez (2007), manifiesta que antes de proceder a desinfectar los granos, se debe inundar el grano en un tanque o recipiente, con el fin de retirar todo el material que flote, como lanas, basura, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas.

Rodríguez *et al.* (2000) citado por FAO (2001), sugiere que las semillas deben desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (“solución de lejía”, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). Este proceso tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias.

La misma cita, explica que el tiempo que dejamos las semillas en la solución, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.

### **2.6.4 Pregerminación**

Esta etapa consiste en sumergir completamente las semillas en agua por un periodo no mayor a 24 horas con el fin de romper el estado de latencia en que se encuentra la semilla (Aquino, 2010).

La FAO (2001), aclara que es importante utilizar suficiente cantidad de agua para cubrir completamente las semillas, sugiere que se use de 0,8 a 1 litro de agua por cada kilo de semilla.

Aquino (2010), explica: Para lograr una completa imbibición lo más conveniente es dividir ese tiempo en dos etapas de 12 horas cada una: remoja las semillas durante 12 horas continuas, las sacamos durante 1 hora para oxigenarlas, luego volver a remojarlas durante otras 12 horas con agua limpia, finalmente la sacamos y dejamos que se oxigene por 1 hora más antes de sembrarla.

El mismo autor, también menciona que los factores determinantes en la pregerminación son la temperatura, la humedad y la oxigenación.

### **2.6.5 Siembra y densidad**

Las densidades óptimas de semillas a sembrar oscilan entre 2,2 Kg a 3,4 Kg por metro cuadrado. Para la siembra, se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no debe ser mayor a 1.5 cm de altura o espesor (FAO, 2001).

### **2.6.6 Germinación**

Arzola (2001), indica que luego de la siembra se puede colocar por encima de las semillas una capa de papel (diario, revistas) el cual también se moja, posteriormente tapar todo con un plástico negro. Mediante esta técnica le estamos proporcionando a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial. Una vez detectada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro y el papel.

Por su parte, Aquino (2010) explica: “al mantener las semillas bien aglomeradas, humedecidas y en semioscuridad, lo que estamos haciendo es simular un sustrato, el cual toda planta requiere para enraizar, además de que, el hecho de que cada grano de semilla tenga que competir con otros, por los recursos agua y luz, alentando de esa manera, la germinación precoz y una mayor altura de las plantas”.

### **2.6.7 Riegos**

Aquino (2010), indica que el riego es el proceso principal en la producción de FVH ya que de su planeación, constancia y sincronización depende la cantidad de forraje que se estará produciendo.

El mismo autor, explica que el riego debe comenzar desde el momento en que se siembran las semillas hasta el momento en que se va a cosechar. El riego se aplica bajo el concepto de que el grano debe permanecer húmedo, evitando cualquier encharcamiento en las bandejas. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran húmedas al igual que su respectiva masa radicular. El crecimiento se retarda tanto por el exceso como por la falta de humedad en las raíces.

Aquino (2010), también sugiere que para zonas como el altiplano el riego debe realizarse en dos turnos, uno en la mañana y el otro en la tarde, para esto se utiliza 2.5 litros por metro cuadrado.

Por su parte, Rodríguez (2003) indica que en la etapa de germinación se debe aplicar únicamente agua a un volumen de 830 ml/m<sup>2</sup> por día; mientras que a partir del día en que aparecen los brotes se incrementará el volumen a 1460 ml/m<sup>2</sup> con una menor frecuencia y con la adición de nutrientes. Los últimos dos días antes de la cosecha el riego se realiza únicamente con agua para eliminar rastros de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y raíces.



Entre tanto, FAO (2001) aclara que recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie de FVH resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible.

### **2.6.8 Cosecha y rendimiento**

La cosecha del FVH comprende el total de la biomasa que contiene la bandeja (hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi germinadas), y esta se cosecha en una sola pieza, se puede dar entero, picado o en trozos (FAO, 2001). Asimismo, Palomino (2008), indica que el forraje a suministrar no debe estar con mucha humedad, esto para evitar posibles problemas de timpanismo o un desorden fisiológico, por lo tanto recomienda airear un poco.

Ñíguez (1988) citado por FAO (2001), asevera que el FVH obtiene su mejor contenido nutricional entre los días 7° y 8°, pero en este momento no alcanza su mejor peso y desarrollo, por lo que haciendo un balance del peso y el contenido de nutrientes es pertinente esperar hasta el día 10 o 12, cuando el cultivo alcance un peso adecuado y no haya decaído su concentración de nutrientes, dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción.

Por su parte, FAO (2001) indica que la cosecha del FVH se puede realizar entre los días 12 a 14, pero si existiera un faltante de alimento se puede efectuar una cosecha anticipada entre los 8 y 9 días. Por otro lado, indica que ciclos muy largos no serían convenientes debido a la disminución de la calidad del FVH resultante.

Palomino (2008), menciona que se ha documentado que períodos de tiempo de 7 a 10 días son más que suficientes para completar el ciclo en un cereal

sembrado para FVH, ciclos más largos no serían convenientes debido a la disminución de materia seca y de calidad en general del forraje resultante.

Entre tanto, FAO (2001) asevera que trabajos de validación de FVH realizados en Uruguay (1996-1997), alcanzaron 12 a 18 kg de FVH y una altura promedio de 30 cm por cada kg de semilla a los 15 días en condiciones favorables para el desarrollo del mismo. Asimismo, se logró 22 kg de FVH por cada kg de semilla de cebada cervecera a los 17 días, utilizando riegos con la solución nutritiva de FAO al 50%. Sin embargo, esta alta productividad de biomasa fue obtenida a costa de una pérdida en la calidad nutricional del FVH.

Sin embargo, Aquino (2010) señala que en zonas como el altiplano la cosecha se debe realizar al cabo de 15 y 22 días, en este transcurso cada kg de semilla se habrá convertido en una masa forrajera de 7 Kg, siempre y cuando se ofrezcan condiciones favorables. El mismo autor señala que el punto que indica la cosecha es cuando las hojas tienden a perder el vigor y se postran es decir se caen.

De la misma forma, Álvarez (2011) aclara que en un ecosistema de alta montaña con altitudes por encima de los 3800 m.s.n.m. donde la temperatura ambiental mínima del día alcanza a los -3°C y la máxima llega a los 21°C el proceso toma entre 18 a 25 días, dependiendo de la temperatura ambiental.

## **2.7 Ventajas y desventajas del FVH**

### **2.7.1 Ventajas**

#### **- Ahorro de agua.**

En la producción de especies forrajeras en campo, para obtener 1kg de materia seca se utiliza entre 270 a 635 litros de agua. En cambio para producir 1 kg de FVH se requiere de 2 a 3 litros de agua con una materia seca que oscila entre

un 12% a 18%; por lo tanto, para producir 1 kg de materia seca se utilizara de 15 a 20 litros de agua. (Sánchez, 1997; Lomelí, 2000; Rodríguez, 2000 citados por FAO, 2001).

La misma cita, expresa que esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se observan generalmente en países con eco-zonas desérticas, a la vez que vuelve atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive, de agua potable para el consumo.

#### **- 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 (FAO, 2001).

#### **- Eficiencia en el tiempo de producción.**

La producción de FVH apto para la 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 (Hidalgo, 1985 citado por FAO, 2001)

Sin embargo, Aquino (2010) y Álvarez (2011) coinciden que en ecosistemas de piso alto andino situados en altitudes por encima de los 3800 m.s.n.m., el ciclo de producción de FVH oscila entre 15 a 25 días.

#### **- Calidad del forraje para los animales.**

El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales (Less, 1983 citado por Pérez, 1987).

#### **- Inocuidad.**

El FVH representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos, nos asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. (Sánchez, 1996-1997 citado por FAO, 2001).

#### **- Costos de producción.**

FAO (2001), 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.

#### **- Diversificación e intensificación de las actividades productivas.**

El uso del FVH posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que una instalación de 170 m<sup>2</sup> para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 hectáreas de avena de corte que pueden ser destinadas a la producción alternativa en otros rubros. El FVH no intenta competir con los sistemas tradicionales de producción de pasturas, pero sí complementarla especialmente durante períodos de déficit (FAO, 2001).

Por su parte, Valdivia (1997) menciona que un kg de FVH reemplaza entre 3,1 y 3,4 kg de alfalfa verde.

#### **- Alianzas y enfoque comercial.**

El FVH, es una alternativa comercial que permite la venta en el mercado de insumos (forraje) que posibilitan generar alianzas o convenios estratégicos con otras empresas afines tales como las empresas semilleristas, cabañas de

reproductores, ferias, locales de remates, cuerpos de caballería del Ejército, etc. En la actualidad existen empresas comercializadoras de FVH en distintos países y todas ellas gozan de un buen nivel aparente de ventas (FAO, 2001).

### **2.7.2 Desventajas**

#### **- Desinformación y sobrevaloración de la tecnología.**

Proyectos de FVH preconcebidos como “llave en mano” son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema (Marulanda e Izquierdo, 2003).

Los mismos autores, señalan que el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja.

#### **- Costo de instalación elevado.**

Morales (1987), menciona que este sistema presenta un elevado costo de implementación. Sin embargo, Sánchez (1996-1997) citado por la FAO (2001), asevera que utilizando invernáculos comunes, es posible producir FVH. Alternativamente, en Brasil producen FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo microtúneles. La práctica de esta metodología es quizás la más económica y accesible.

## **2.8 Estructura de las semillas**

La semilla está formada por un embrión, tejidos nutritivos (endospermo) y una cubierta (testa).

El embrión es la parte que origina al nuevo vegetal. El eje embrionario es un tejido de forma alargada con un meristemo en cada punta, y de acuerdo a la especie presenta una o más hojas modificadas llamadas cotiledones; el extremo del embrión que da origen al tallo de la planta y que tiene el meristemo cubierto con primordios de hojas se conoce como epicótilo o plúmula (Camacho,1994).

Los tejidos nutritivos o endospermo tienen que alimentar al embrión hasta que la fotosíntesis pueda cubrir las necesidades de la planta (Bass *et al.*, 1979 citado por González, 2011).

Camacho (1994), menciona que las cubiertas formadas a partir de las envolturas del ovulo reciben el nombre de testa (externa) y tegmen (interna) sobre la testa se observa el hilio, que es una pequeña perforación por la que entra agua y aire a la semilla.

## **2.9 Fisiología de la germinación**

La germinación es un proceso de cambio de una pequeña estructura inactiva viviendo con abastecimiento mínimo, a una planta que crece activamente, destinada a llegar a la autosuficiencia antes de que los materiales de reserva de la semilla se terminen (Agrawal *et al.*, 1986 citado por González, 2011).

Según Hartman y Kester (1971) citados por Camacho (1994), para que la germinación se realice, se necesita que: a) la semilla sea viable, b) se tenga la temperatura, aireación y humedad adecuada para el proceso y c) se eliminen los bloqueos fisiológicos presentes en las semillas, que impiden la germinación.

### **2.9.1 Letargo de semilla**

Boyce *et al.* (1986), señala: “el crecimiento del embrión se detiene con la

maduración de las semillas, en ese momento se inicia una etapa de mínima actividad metabólica conocida como letargo, pero el crecimiento se reanuda otra vez en la germinación”.

Durante el letargo, la respiración es muy escasa y las actividades vitales de la semilla cesan casi por completo, con la imbibición se modifican las cubiertas de esta para permitir la absorción de humedad y el intercambio de gases a través de ellas (Meza, 1965).

### **2.9.2 Proceso de germinación**

Al llegar al medio en que finalmente se desarrollan las semillas, estas pueden estar secas o aletargadas, por lo cual la germinación comienza con la ruptura de este letargo (Meza, 1965).

La misma cita, expresa que una semilla seca en estado de letargo requiere de considerable humedad antes de que se produzca la germinación, proceso que se denomina imbibición. “La hidratación es una condición indispensable para la activación del metabolismo y la subsiguiente germinación; la absorción de agua suele efectuarse en tres fases, en la primera el agua se absorbe rápidamente, en la segunda el contenido de agua permanece casi constante y finalmente ocurre una intensa absorción de agua relacionada con el alargamiento celular y aparición de la radícula.

Además, durante el proceso de imbibición el agua no es el único compuesto que entra a la semilla, a través de los poros y canales también se difunde el oxígeno, por lo que las pequeñas cantidades de oxígeno disueltas suma una importancia especial durante el proceso de imbibición (Meza, 1965).

En la germinación se activa la movilización de sustancias almacenadas en los tejidos de reserva lo cual ocasiona la aparición y el crecimiento de la plántula. (Camacho, 1994).

### 2.9.3 Fotosíntesis

Castilla (2004) mencionado por Quispe (2013), señala que la fotosíntesis es el proceso de conversión de energía solar en energía química en los tejidos vegetales, esta energía química es almacenada en forma de Hidratos de carbono.

Una ecuación generalizada de la fotosíntesis:  $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ . La clorofila es una proteína asociada con un metal (Mg). La clorofila absorbe la energía (fotones) del sol y combina con ADP con un grupo fosfato para formar ATP en un proceso llamado fosforilación.  $\text{ADP} + \text{fosfato} + \text{energía} \rightarrow \text{ATP}$  (Stevenson, 1989).

Villee (1994), señala que la fotosíntesis es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz, en este proceso la energía luminosa se transforma en energía química estable, siendo el adenosín-trifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química, en la cual el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad.

### 2.10 Especies forrajeras utilizadas en la producción de FVH

Esencialmente se utilizan granos de: cebada, avena, vicia, maíz, trigo y sorgo y últimamente se está experimentando con arroz. La elección del grano a utilizar depende de la disponibilidad local y/o del precio a que se logren adquirir. Asimismo la producción de FVH utilizando semillas de alfalfa no es tan eficiente como con los granos de gramíneas debido a que su manejo es muy delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional de forraje, asimismo para elegir el grano a utilizar se debe tomar en cuenta la disponibilidad local (FAO, 2001).

Oliver *et al.* (2004) citado por Vargas (2008), menciona que dentro de las



especies se tiene una amplia cantidad de variedades y éstas a su vez tienen una amplia gama de comportamientos, por lo que es importante realizar pruebas de comportamiento para obtener la mejor opción económica en cuanto a la producción de FVH.

### **2.11 Semilla certificada**

Para INIAP (1973), la semilla certificada es la que se obtiene después de un proceso legalizado de producción y multiplicación de semilla de variedades mejoradas. El objetivo básico es mantener y hacer que los agricultores dispongan de una fuente de semilla y de materiales de propagación, de calidad superior, producidos, procesados y distribuidos de manera que se pueda asegurar su identidad genética y su alta calidad.

Mientras que para el Programa Nacional de Semilla “PNS” (1999), la semilla Certificada es aquella semilla que ha seguido todo el manejo en forma tal que su identidad y pureza genética se preservan satisfactoriamente, bajo el proceso de certificación de semillas, desde la fase de campo hasta la etiquetación de Semillas.

Asimismo, el mismo autor menciona que los procesos de certificación y fiscalización se realizan con la finalidad de verificar la calidad de la semilla, que es puesta a disposición de los agricultores para evitar la introducción y difusión de: malezas, variedades no registradas y/o semillas portadoras de plagas y/o enfermedades.

Por su parte, García (2010) asevera que con semillas certificadas los agricultores obtienen mayor productividad en relación con las razas criollas y garantizan una germinación homogénea, por ser uniformes y estar clasificadas en tamaños. Otra ventaja es que se encuentran libres de malezas y son sometidas a un tratamiento químico que evita la presencia de plagas y enfermedades. Sin

embargo su precio en el mercado es 50 por ciento más elevado que las semillas tradicionales.

## **2.12 Semilla criolla**

La palabra criolla quiere decir "autóctono o propio". Entonces cuando decimos semillas criollas hacemos referencia a las semillas adaptadas a nuestro entorno por un proceso de selección natural o manual de parte de los productores. Estas fomentan el retorno a la agricultura tradicional de autoconsumo, evitando el agotamiento de las tierras y la pérdida de la Biodiversidad. Tienen la característica de producir descendencia fértil; es decir, de ellas podemos obtener semillas para nuestra próxima siembra (Hydro Environment, 2014).

La misma fuente, menciona que estas semillas en el mercado tienen un precio económico y son las ideales para su utilización en FVH, ya que aparte del beneficio económico estos están libres de algún producto químico que generalmente presentan las semillas certificadas.

### **3. LOCALIZACIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad de Chuquiaguillo, zona Urujara, perteneciente a la provincia Murillo del departamento de La Paz, dista 10 km de la sede de gobierno, geográficamente se halla ubicada entre los paralelos 16°25'52,63" de Latitud Sur y 68°04'27,91" de Longitud Oeste a una altitud de 4178 m.s.n.m. (Google Earth, 2014).

#### **3.2 Materiales**

##### **3.4.1 Instalación**

- Invernadero
- Estante
- Bandejas

##### **3.4.2 Insumos**

- Semilla de cebada Variedad Criolla (semilla no certificada)
- Semilla de cebada Variedad IBTA-80 (semilla certificada)
- Hipoclorito de sodio comercial
- Agua

##### **3.4.6 Materiales de escritorio**

- Computadora
- Impresora
- Hojas

### **3.4.5 Materiales de campo**

- Planillas de registro
- Balanza de reloj
- Termómetros
- Mochila aspersora
- Bolsas de polietileno

### **3.4.6 Materiales de laboratorio**

- Balanza de precisión de 0.1 g
- Pinzas
- Lupa
- Cajas Petri
- Agua destilada

## **3.3 Métodos**

### **3.3.1 Procedimiento experimental**

Este trabajo de investigación se realizó en dos fases: En la 1° fase se determinó la calidad de la semilla de dos variedades de cebada y en la 2° fase se evaluó la producción de FVH en función de los periodos de cosecha y de las variedades respectivamente. A continuación se detalla las actividades que se realizaron en cada fase:

- **1° Fase**

En esta fase, se determinó la calidad de la semilla de dos variedades de cebada. Las semillas sometidas al estudio fueron: la semilla de cebada de la variedad Criolla que provino de semilla no certificada y la semilla de cebada de la variedad IBTA-80 que provino de semilla certificada. Los parámetros que se

analizaron para determinar la calidad de estas semillas fueron: porcentaje de germinación, peso de 1000 granos, porcentaje de pureza y Valor cultural.

- **2° Fase**

Para la realización de esta fase, se procedió con las siguientes actividades:

- **Construcción de la carpa solar**

El ambiente que se construyó para la producción de FVH se asemeja a una “instalación popular”, clasificada así por la FAO (2001). La estructura fue construida con listones de madera, el techo de agrofilm y las paredes laterales con plástico común, se tomó en cuenta la orientación y los requerimientos ambientales que se necesitan para todo el proceso de producción. Los detalles y el croquis de construcción se encuentran en el Anexo 27.

- **Construcción del estante**

El estante se construyó con listones de madera distribuidos en 3 pisos, dicho estante tenía la capacidad de aguantar el peso del FVH producido en las bandejas. Los detalles de la construcción se encuentran en el Anexo 28.

- **Construcción de bandejas**

Las bandejas se construyeron de madera forradas con agrofilm, cada bandeja tenía la siguiente medida: 1 m de largo x 0.5 m de ancho x 0.1 m alto, teniéndose una superficie de 0.5 m<sup>2</sup> por bandeja. Para el drenaje del agua se realizó perforaciones en la parte inferior de las bandejas, ya que la acumulación del agua en las bandejas trae consecuencias negativas a las semillas sembradas. Los detalles de la construcción se encuentran en el Anexo 29.

## - Metodología utilizada para la producción de FVH

A continuación se describen los pasos metodológicos para la producción del FVH utilizado:

- **Lavado y desinfección de la semilla:** antes de proceder a la desinfección, se inundó los granos en un recipiente, con el fin de retirar todo el material que flote “impurezas”. Acto seguido se desinfecto las semillas con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El tiempo que se dejó las semillas en la solución fue de 3 minutos, que culmino en un enjuague con abundante agua.
- **Pre-germinación:** Se sumergió las semillas en agua (1 litro de agua por cada kilo de semilla) por un periodo de 24 horas para romper el estado de latencia de la semilla. Para lograr una completa imbibición se dividió este tiempo en dos etapas de 12 horas cada una: se remojo las semillas durante 12 horas continuas, se sacó durante 1 hora para oxigenarlas, luego se volvió a remojarlas durante otras 12 horas con agua limpia, finalmente se sacó y se dejó 1 hora más para que se oxigene antes sembrarla.
- **Siembra:** las semillas pre-germinadas se distribuyeron en cada bandeja a una densidad de siembra de  $1.5 \text{ kg}/0.5\text{m}^2$ , las cuales formaron una capa de 1.5 cm de espesor.
- **Germinación:** luego de la siembra se puso por encima de las semillas una capa de papel periódico humedecido con agua, posteriormente se tapó todo con plástico negro para mantenerla en semioscuridad. Una vez detectada la brotación completa de las semillas se retiró el plástico negro y el papel.
- **Riego:** el riego comenzó desde el momento en que se sembraron las semillas hasta el momento en que se cosecho. El riego se aplicó bajo el concepto de

que el grano debe permanecer húmedo, evitando el encharcamiento de las bandejas. Un indicador práctico que se tomó en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran húmedas al igual que su respectiva masa radicular.

La frecuencia de riego que se adaptó a las condiciones de la presente investigación, fue la que sugiere Aquino (2010), donde indica que en condiciones de altiplano cada día se debe regar en dos turnos, uno en la mañana y el otro en la tarde, para esto se utiliza 2.5 litros por metro cuadrado.

- **Cosecha:** la cosecha se realizó de acuerdo a cada tratamiento a los 15 días, 20 días y 25 días en las dos variedades utilizadas. La cosecha del FVH consistía en el total de la biomasa que contenía la bandeja como hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semigerminadas.

### 3.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico para la 1° fase y parte de la 2° fase, se realizó mediante la prueba T de student para comparación de dos muestras independientes con un nivel de significancia de 0.05 (Calzada, 1970); con esta prueba se analizó las siguientes variables: porcentaje de germinación, peso de 1000 granos, porcentaje de pureza, valor cultural, Número de días a la germinación y número de días a la brotación de las hojas. También se utilizó el método angular arcoseno de la raíz cuadrada para transformar los datos de porcentaje.

Mientras que para las variables altura de la planta, rendimiento de FVH, relación de conversión de semilla a forraje (RCS) y porcentaje de materia seca; el diseño que mejor se ajustó, fue el diseño de Bloques completamente al azar con arreglo bi-factorial (Calzada, 1970).

Asimismo para realizar la prueba de comparaciones múltiples de medias de las variables que resultaron diferencias significativas o altamente significativas, se usó la prueba de rango múltiple de Duncan (5%) (Calzada, 1970).

### 3.4.1 Modelo lineal aditivo

El modelo lineal aditivo del diseño de bloques completamente al azar con arreglo bi-factorial es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{k(ij)}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Unidad experimental que recibe la i-ésima variedad, j-ésimo periodo de cosecha y se encuentra en el k-ésimo bloque.

$\mu$  = Media general del experimento

$\beta_k$  = Efecto del k – ésimo bloque

$\alpha_i$  = Efecto de la i-ésima variedad de semilla

$\gamma_j$  = Efecto del j-ésimo periodo de cosecha

$(\alpha\gamma)_{ij}$  = Interacción de la i-ésima variedad con el j-ésimo periodo de cosecha

$\varepsilon_{k(ij)}$  = Error experimental

### 3.4.2 Tratamientos y unidades experimentales

- **1° Fase**

Para esta fase (calidad de la semilla), se trabajó con dos tratamientos: el tratamiento 1 representada por la cebada de la variedad Criolla (semilla no certificada) y el tratamiento 2 representada por la cebada de la variedad IBTA-80



(semilla certificada). Además cada tratamiento estuvo compuesto por 3 repeticiones, teniéndose un total de 6 unidades experimentales (cuadro 5).

**Cuadro 5. Factores de Estudio de la fase 1**

<b>Variedades de cebada</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Número de repeticiones</b>
<b>V1</b> = Variedad Criolla (Semilla no certificada)	<b>V1 = T1</b> = Tratamiento 1	3
<b>V2</b> = Variedad IBTA-80 (Semilla certificada)	<b>V2= T2</b> = Tratamiento 2	3

- **2° Fase**

Para esta fase (producción de FVH en función de las variedades y periodos de cosecha), se trabajó con dos factores de estudio, el factor A estuvo conformado por dos variedades de cebada las cuales fueron: cebada de la variedad criolla (semilla no certificada) y cebada de la variedad IBTA-80 (semilla certificada), el factor B estuvo conformado por tres periodos de cosecha: 15 días, 20 días y 25 días. Cada bandeja de 0.5 m<sup>2</sup> fue considerada como una unidad experimental, las cuales se distribuyeron en 6 tratamientos con 3 repeticiones, disponiéndose así de un total de 18 unidades experimentales (cuadro 6).

**Cuadro 6. Factores de Estudio de la fase 2**

<b>FACTOR A</b>	<b>FACTOR B</b>	<b>TRATAMIENTOS</b>
<b>Variedades de Cebada</b>	<b>Periodos de Cosecha de FVH</b>	
V1 = Variedad Criolla (Semilla no certificada)	C1 = Cosecha a los 15 días	V1C1 = T1
		V1C2 = T2
	V2 = Variedad IBTA-80 (Semilla certificada)	C2 = Cosecha a los 20 días
V2C1 = T4		
C3 = Cosecha a los 25 días		V2C2 = T5
	V2C3 = T6	

### 3.4.3 Croquis experimental

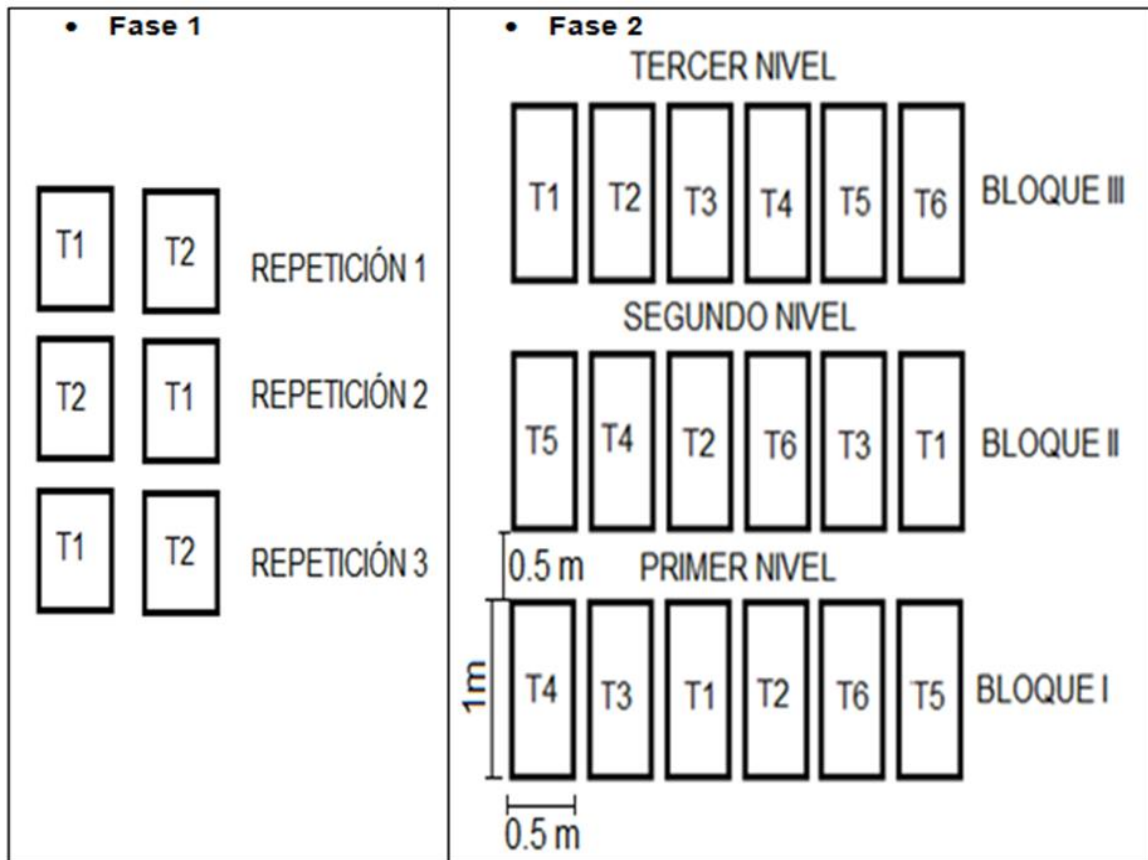


Figura 1. Croquis experimental de la 1° fase y la 2° fase.

En la figura 1, se observa la disposición de las unidades experimentales, tanto en la 1° fase como en la 2° fase.

### 3.5 Variables de respuesta

#### 3.5.1 Variables de respuesta de la 1° fase

##### 3.5.1.1 Porcentaje de germinación

Se contó 100 granos de semilla de cebada, las cuales se sembraron sobre un recipiente, para mantener la humedad dentro del recipiente se colocó papel filtro

humedecido con agua destilada y se realizó un solo conteo de las semillas germinadas a los 6 días en todas las unidades experimentales respectivamente.

### **3.5.1.2 Peso de 1000 granos**

Para determinar esta variable se procedió a contar 200 granos de semilla de cebada muestreados al azar de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. Luego se pesó los 200 granos, con este dato se calculó el peso de 1000 granos con la siguiente relación:

$$\text{PMG} = \text{Peso de 200 granos} * 5$$

Donde:

**PMG** = peso de mil granos

### **3.5.1.3 Porcentaje de pureza**

Para su determinación se pesaron 20 g de muestra de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. Cada muestra se colocó sobre una superficie blanca donde se sacó todas las impurezas con la ayuda de una pinza y una lupa, se consideró como impurezas a las semillas partidas y todo material que no era cebada. Una vez que las semillas estaban libres de impurezas (semillas puras), se volvieron a pesar. Para determinar el porcentaje de impurezas se utilizó la siguiente relación:

$$\% \text{ impurezas} = \frac{\text{Peso de semillas puras}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

#### **3.5.1.4 Valor cultural o valor real**

Mediante el porcentaje de pureza y el porcentaje de germinación se pudo obtener el Valor Cultural aplicando la siguiente formula:

$$VC = \frac{\% \text{ de germinación} * \% \text{ de Pureza}}{100}$$

#### **3.5.2 Variables de respuesta de la 2° fase**

##### **3.5.2.1 Número de días a la germinación**

La toma de datos de esta variable se realizó por observación directa, se tomó en cuenta los días transcurridos desde el día de la siembra hasta el día en que el 50 % de las plantas presentaron sus raíces germinadas.

##### **3.5.2.2 Número de días a la brotación de las hojas**

Esta variable se registró por observación directa, tomándose en cuenta los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta el día en que el 50% de las plantas mostraron los primeros brotes.

##### **3.5.2.3 Altura de la planta**

Esta variable se midió con la ayuda de una regla de 30 cm de longitud, la medición se realizó en cm, midiéndose desde el cuello hasta el ápice de la planta. Los datos se recolectaron todos los días desde la brotación de las primeras hojas hasta el día de la cosecha.

#### **3.5.2.4 Rendimiento de FVH**

Para registrar esta variable se hizo uso de una balanza de reloj con capacidad de 20 kg, donde se pesó el forraje obtenido en los diferentes periodos de cosecha de las dos variedades, la unidad de medida fue en kg/m<sup>2</sup>.

#### **3.5.2.5 Relación de conversión de semilla a forraje (RCS)**

Para determinar esta variable, se hizo una relación del forraje verde producido por cada 1 kg de semilla sembrada en los diferentes tratamientos.

#### **3.5.2.6 Materia seca**

Para determinar la cantidad de materia seca, se recolecto 100 gramos de forraje verde de cada unidad experimental en los diferentes periodos de cosecha de las dos variedades, las cuales se llevaron al laboratorio donde fueron sometidas a un secado por 48 horas a 105 °C en un horno.

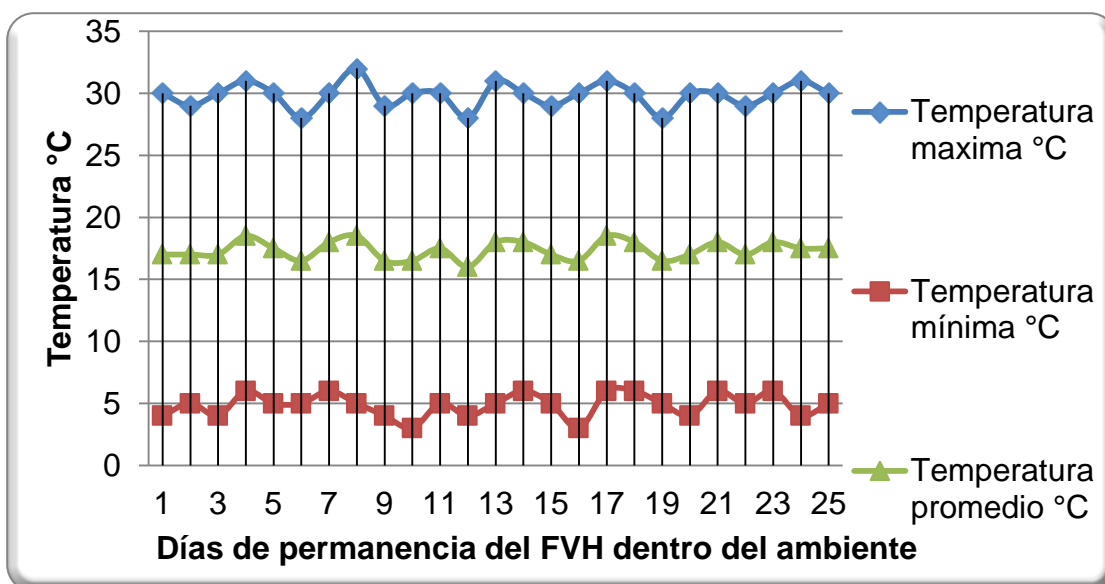
#### **3.5.3 Costos de producción**

Para realizar los costos de producción se calculó los costos fijos y los costos variables por cada tratamiento de acuerdo al formato de la FAO (2001). Asimismo se hizo el cálculo del beneficio-costo para los diferentes tratamientos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Temperaturas registradas durante el desarrollo de la cebada para forraje verde hidropónico (FVH).

Las temperaturas que se registraron en el ambiente hidropónico se presenta en la figura 2, en la que durante el desarrollo del cultivo, la cebada experimentó una temperatura promedio de 17,36°C, con una máxima promedio de 29°C y una mínima promedio de 4,8°C, Asimismo se tuvo una temperatura mínima extrema de 3°C y una máxima extrema de 32°C.



**Figura 2. Temperaturas registradas durante el desarrollo del FVH.**

Según Aquino (2010), la temperatura es uno de los factores importantes en la producción de forraje verde hidropónico. El rango óptimo de temperatura para la producción de FVH está entre los 15 °C y 30 °C. Asimismo menciona que la variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y crecimiento de la planta es diversa, razón por la cual debe mantenerse lo más constante posible durante el día y la noche.

Sin embargo en la investigación se tuvo temperaturas que no se encuentran en los rangos que menciona la cita, probablemente esto ocurrió debido a la infraestructura denominada por la FAO (2001) como “popular”, en donde se hace dificultoso el control de las temperaturas mínimas, de todas formas las temperaturas máximas se lograron controlar con la ventilación oportuna del ambiente. No obstante, para tratar de prever estos problemas, se realizaron investigaciones en infraestructura para producción de FVH en localidades como el altiplano, en los cuales se trató de controlar las variaciones de temperatura como lo son el “invernadero tipo andino modificado” (Aquino, 2010) y el “Utayapu” (Gallardo, 1997).

## **4.2 Resultados de la 1° fase**

### **4.2.1 Porcentaje de germinación**

La germinación se define como el surgimiento y desarrollo de la radícula, a partir del embrión de la semilla, de las estructuras esenciales que indican la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables. La germinación se expresa como el porcentaje de semillas puras que produce plántulas normales (Justice, 1972; ISTA, 1976; citados por FAO, 1991)

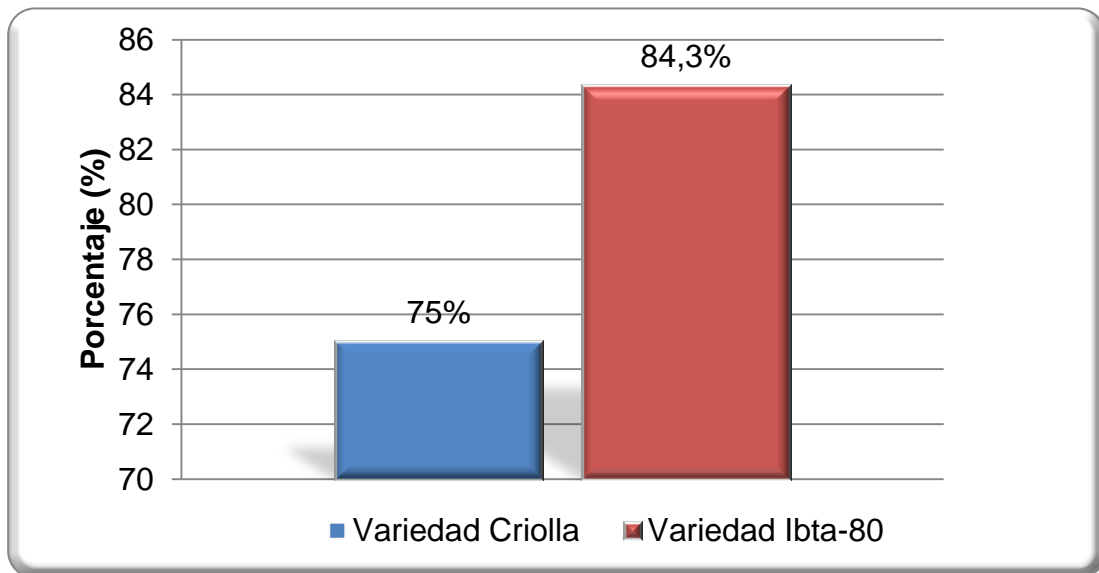
En la prueba t de student para el porcentaje de germinación del cuadro 7, se puede observar que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre los porcentajes de germinación de la semilla para las variedades criolla e IBTA-80.

**Cuadro 7. Prueba T de student para % de germinación.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	75	84,3
Varianza(S <sup>2</sup> )	0,0105	0,003
Grados de libertad	4,0000	
T calculado	-3,4298*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo (P < 0,05)

La figura 3, muestra el porcentaje de germinación que presentó cada variedad, en la que se ve la diferencia obtenida en la prueba t de student, donde la semilla de variedad IBTA-80 tuvo mayor porcentaje de germinación con 84,3%, seguido de la variedad Criolla con 75%.



**Figura 3. Porcentaje de germinación de las variedades de cebada.**

De acuerdo a la FAO (2001), La semilla debe presentar en lo posible un porcentaje de germinación mayor o igual a 70-75% para evitar pérdidas en los



rendimientos de FVH, por lo tanto los valores obtenidos en la prueba de germinación de estas variedades están dentro de lo establecido.

En los estudios realizados por Mendoza (2009) y Quispe (2013), se reportan valores similares en porcentaje de germinación de la variedad IBTA-80.

Al respecto, García (2010) asevera que con el uso de semillas certificadas los agricultores obtienen mayor productividad en el campo en relación a las semillas criollas ya que garantizan una germinación alta y homogénea. Pero en la producción de FVH, Villar (1999) citado por Cueva (2010), señala que las semillas en FVH no son para hacer grandes plantas de producción de calidad sino pequeñas plántulas que crezcan un máximo de 15 a 20 cm. entonces lo que interesa es que germinen bien todas las semillas posibles y no que sean de plantas exóticas o de alta ingeniería genética. Son para forraje verde hidropónico, no para cultivar el cereal.

#### **4.2.2 Peso de 1000 granos**

Román (2005), menciona que el peso de las semillas depende del tamaño y su densidad. Los granos más grandes poseen mayor contenido de endospermo, así mismo menciona que a mayor peso habrá mayor porcentaje de endospermo. También indica que el peso 1000 granos en la cebada suele variar entre 20 a 50 gramos.

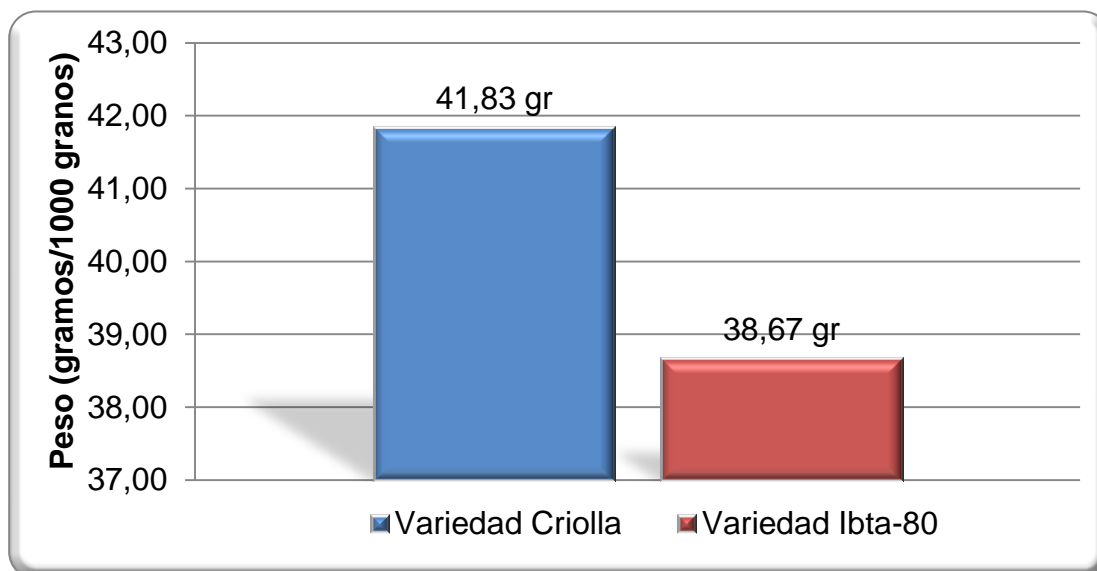
En el cuadro 8, se observa la prueba T de student ( $P < 0,05$ ) para peso de 1000 granos, donde se ve que existe diferencia significativa entre los pesos de 1000 granos de las semillas de la variedad Criolla e IBTA-80.

**Cuadro 8. Prueba T de student para peso de 1000 granos.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	41,83	38,67
Varianza(S <sup>2</sup> )	1,3333	0,0833
Grados de libertad	4	
T calculado	4,6082*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo (P< 0,05)

En la figura 4, se aprecian los valores que presenta el peso de mil granos de cada variedad donde se puede ver que se tiene un mayor peso de 1000 granos en la variedad Criolla con 41,8 gr, seguido de la variedad IBTA-80 con 38,67gr.



**Figura 4. Peso de 1000 granos de las variedades de cebada.**

Al respecto, Román (2005) indica que los resultados que se obtienen en la prueba de peso de 1000 granos siguen la misma tendencia que el peso hectolítrico. Estadísticamente la variedad Criolla tiene mayor peso de 1000 granos, esto se debe a que esta variedad presento los granos más grandes, en cambio las semillas

de variedad IBTA 80 presento granos medianos; sin embargo cabe resaltar que entre las semillas de la variedad criolla existía una mezcla entre semillas de diferentes tamaños, mientras que en la variedad IBTA-80 los tamaños eran homogéneos.

#### 4.2.3 Porcentaje de pureza

Un aspecto importante en la calidad de las semillas es la pureza física. Con el análisis de pureza física se determina la composición del lote de semillas estableciendo identificaciones y cuantificándose las semillas puras, materia inerte y otras semillas (López, 2005). Asimismo, Ferraz (1994) indica que las impurezas pueden ser fuente de contaminación de agentes fitopatogénicos, enfermedades, plagas, insectos; además de ocupar lugar en el almacenamiento, generalmente transportan humedad que causa la deterioración de las semillas

En el cuadro 9, se observa la prueba T de student ( $P < 0,05$ ) donde se ve que existe diferencia significativa entre los porcentajes de pureza de la variedad Criolla e IBTA-80.

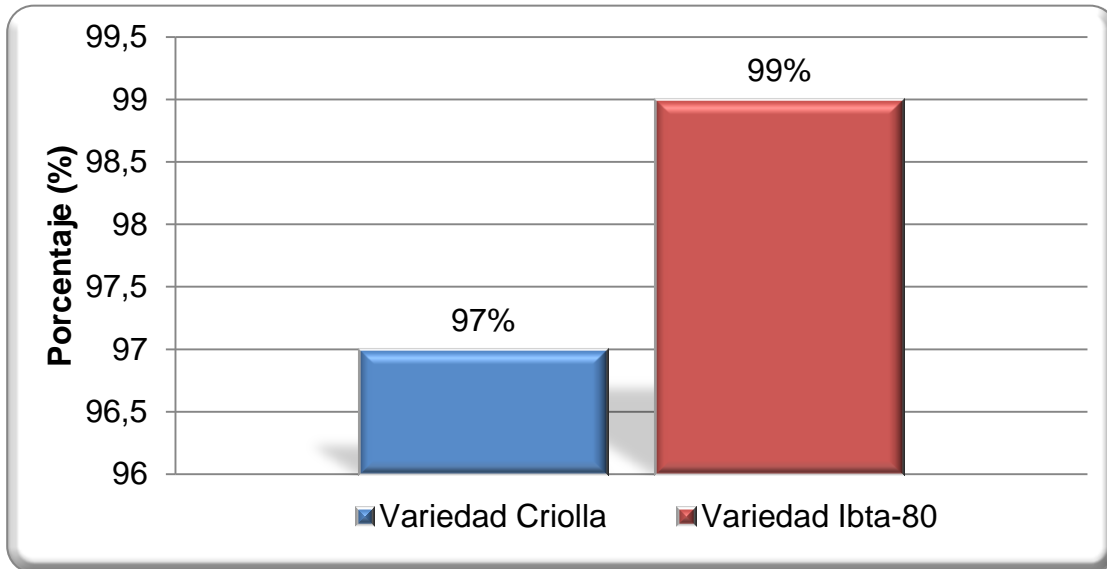
**Cuadro 9. Prueba T de student para porcentaje de pureza.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	97	99
Varianza( $S^2$ )	0,0035	0
Grados de libertad	4	
T calculado	-4,2061*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo ( $P < 0,05$ )

Los valores de porcentaje de pureza física obtenidos en la investigación, se puede apreciar en la figura 5, donde se evidencia la existencia de diferencia significativa entre el porcentaje de pureza que presentan las semillas de las

variedades estudiadas, donde la variedad IBTA-80 presenta mayor porcentaje de pureza física con 99%, dejando en segundo lugar a la variedad Criolla con 97 %.



**Figura 5. Porcentaje de pureza de las variedades de cebada.**

Los datos obtenidos en este estudio con respecto a la pureza física de las semillas de la variedad IBTA-80 son similares a los reportados por Quispe (2013) y Mendoza (2009), que obtuvieron valores de 99 % de pureza física. Asimismo la diferencia que se encontró entre las purezas físicas de las semillas de los tratamientos se podría deber a que los lotes de semilla de la variedad IBTA-80 tuvieron mejor acondicionamiento de pre limpieza que los lotes de semilla de la variedad Criolla.

#### **4.2.4 Valor cultural o valor real**

El valor real es un indicador de la calidad de la semilla, es la expresión porcentual que define el verdadero valor de las semillas que son capaces de germinar teniendo en cuenta la pureza y el poder germinativo, lo que indica es la cantidad de semilla pura viva presente; esto quiere decir, la cantidad de semilla con una alta probabilidad de germinación. Al determinar el porcentaje de semillas pura

viva germinable mediante el valor real se puede determinar la cantidad de semilla necesaria para la siembra. (Programa Nacional de Semillas, 2000).

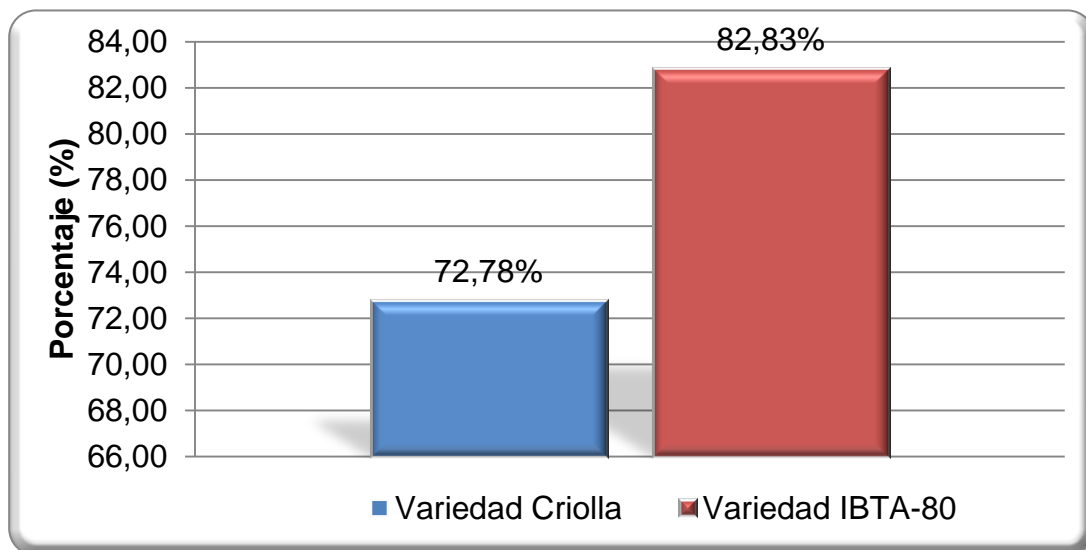
En la prueba T de student ( $P < 0,05$ ) del cuadro 10, se observa que existe diferencia significativa entre el valor cultural de las semillas Criolla e IBTA-80.

**Cuadro 10. Prueba T de student para valor real o valor cultural.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	72,78	82,83
Varianza( $S^2$ )	0,01278792	0,006905
Grados de libertad	4	
T calculado	2,9997*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo ( $P < 0,05$ )

En la figura 6, se puede observar los valores culturales alcanzados en ambas variedades, donde se puede ver que se tiene un mayor valor real en la semilla de variedad IBTA-80 con 82,83%, seguido de la semilla de la variedad Criolla con 72,78%.



**Figura 6. Porcentaje de valor cultural o real de las variedades de cebada.**

Los datos obtenidos en este estudio con respecto al valor real de las semillas de la variedad IBTA-80 son cercanos a los reportados por Quispe (2013) y Mendoza (2009), que obtuvieron valores de 83,1 % de valor real.

La diferencia entre los valores reales de las variedades se podría atribuir a que los lotes de semilla de la variedad IBTA-80 por ser una semilla certificada tuvo un mejor manejo de pre limpieza y en general un manejo adecuado de la calidad de la semilla, en cambio la semilla de la variedad Criolla no presenta un manejo determinado de la calidad de las semilla puesto que es manejado directamente por los agricultores.

### 4.3 Resultados de la 2° fase

#### 4.3.1 Número de días a la germinación

El cuadro 11 muestra la prueba T de student para el número de días transcurridos desde la siembra hasta la germinación, donde se puede ver que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre variedades.

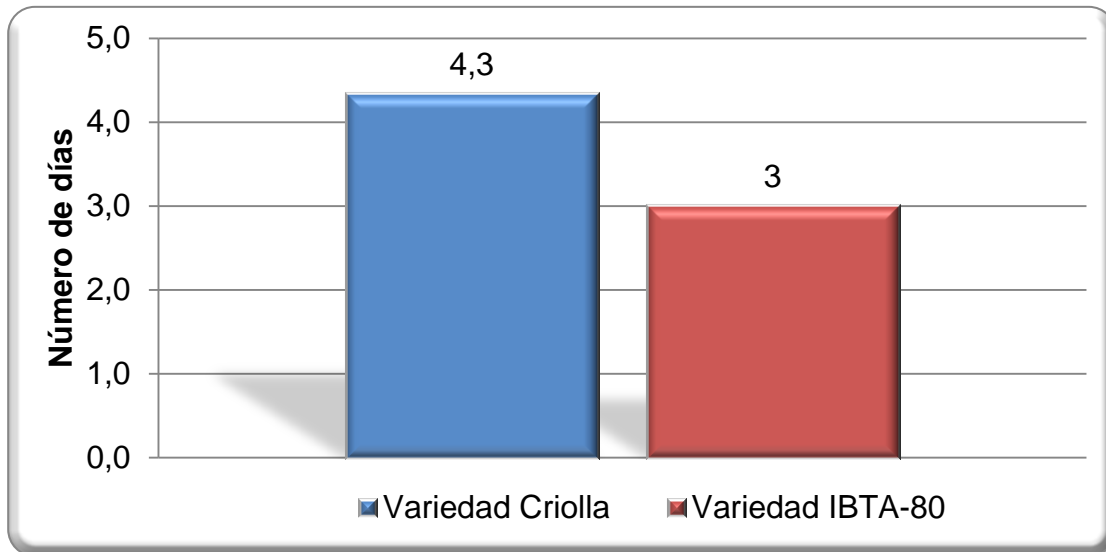
**Cuadro 11. Prueba T de student para número de días a la germinación.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	4	3
Varianza( $S^2$ )	0,333	0
Desviación estándar (S)	0,577	0
Grados de libertad	4	
T calculado	4*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo ( $P < 0,05$ )

En la Figura 7, se puede observar el número de días a la germinación que presentaron las variedades estudiadas, asimismo se puede ver la diferencia que

existe entre los días a la germinación de las variedades en estudio en la que la variedad IBTA-80 llegó a germinar en 3 días a diferencia de la variedad Criolla que germinó en 4 días.



**Figura 7. Número de días a la germinación de las variedades de cebada.**

Al respecto, Navarrete (2008); Andrade y Casanova (2010) reportaron datos similares al número de días a la germinación que presentó la variedad IBTA-80 el cual fue de 3 días, asimismo, Quispe (2013) que en su investigación utilizó las semillas de cebada de la variedad IBTA-80 reportó el mismo valor de 3 días. Por su parte, Gómez (2007) reportó un número menor de días a la germinación en la cebada para FVH, que fue de 2 días, probablemente esto se debió a las condiciones ambientales donde se realizó esta la investigación o en todo caso utilizó semilla de mejor calidad.

Los resultados de este estudio indican que las semillas de cebada de la variedad IBTA-80 germinaron a los 3 días y las semillas de cebada de la variedad Criolla a los 4 días, esto se debe a que la cebada IBTA-80 es una semilla mejorada y además certificada y que una de sus principales características que presenta es su alta precocidad; mientras que las semillas de la variedad Criolla son semillas no certificadas, por lo tanto su precocidad es indeterminada.

#### 4.3.2 Número de días a la brotación de las hojas

En la prueba T de student del cuadro 12, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre el número de días transcurridos desde la siembra hasta la brotación en las variedades empleadas.

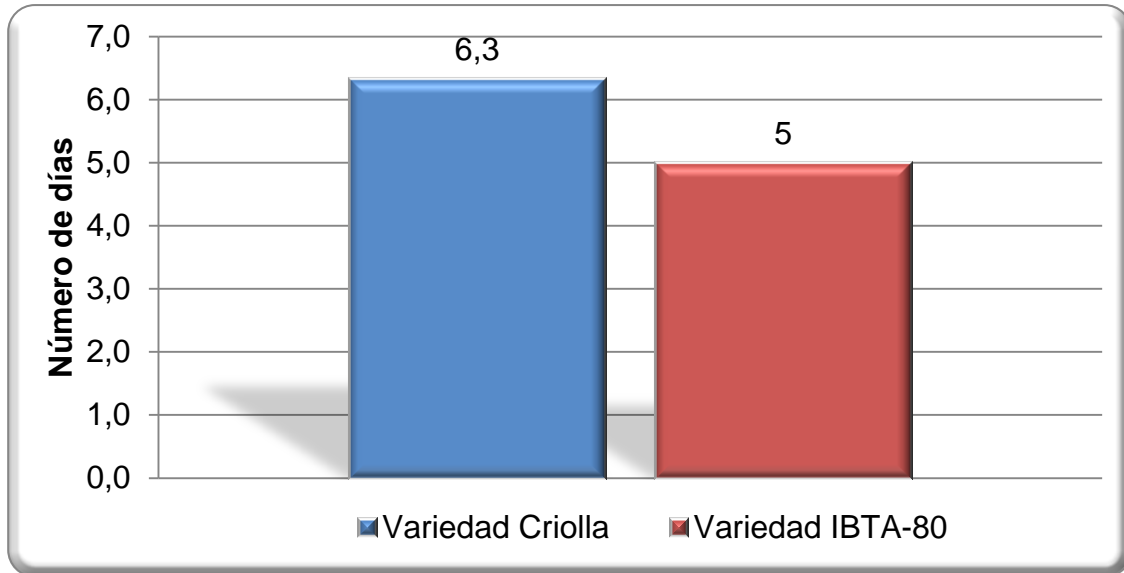
**Cuadro 12. Prueba T de student para Número de días a la brotación de las hojas.**

Parámetro	Variedad	
	Criolla	IBTA-80
Promedio	6	5
Varianza( $S^2$ )	0,333	0
Desviación estándar (S)	0,577	0
Grados de libertad	4	
T calculado	4*	
Valor crítico de t (dos colas)	2,7764	

\* Significativo ( $P < 0,05$ )

El número de días transcurridos desde la siembra hasta la cosecha en las variedades estudiadas se puede ver en la figura 8, donde se observa la diferencia que existe en este parámetro estudiado, donde la variedad IBTA-80 logró brotar a los 5 días y la variedad criolla a los 6 días.





**Figura 8. Número de días a brotación de las hojas de las variedades de cebada.**

Calles (2005), utilizó niveles de azufre como nutriente en el cultivo de FVH de cebada, en el que los diferentes niveles de azufre y el testigo no resultó significativo, reportando un promedio de 4.5 días en el tiempo de apareamiento de las primeras hojas, Por lo que hay una cierta similitud a lo obtenido en la variedad IBTA-80.

Los resultados del estudio indican que las semillas de cebada de la variedad IBTA-80 emergieron a los 5 días y las semillas de cebada de la variedad Criolla a los 6 días, estos resultados comparados con los obtenidos en el número de días a la germinación sugieren que la cebada de la variedad IBTA-80 presenta mayor precocidad en cuanto al número de días a la germinación y al brote de las hojas con relación a la cebada de variedad Criolla. Esto se debe a que una de las principales características que presenta la variedad IBTA-80 (semilla certificada) es su alta precocidad.

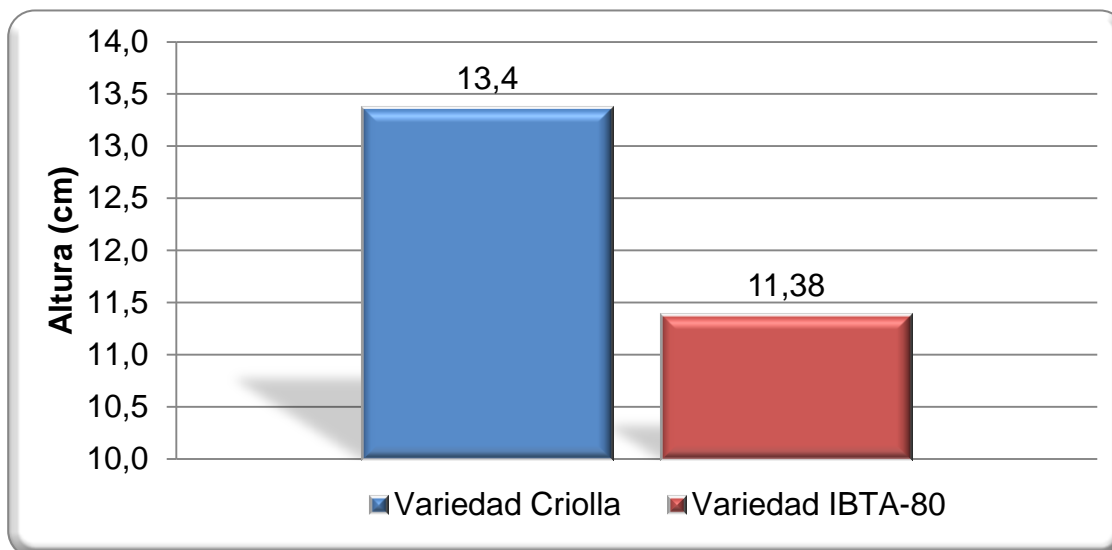
### 4.3.3 Altura de la planta

En el cuadro 13, se presenta el análisis de varianza realizado para la altura de la planta, donde se puede observar que existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre bloques, lo cual indica que se logró una eficiencia en el diseño de la investigación, asimismo se puede observar que existe diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) para el factor A (variedades), y para el factor B (periodos de cosecha) se tiene diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), sin embargo no hay diferencias significativas en la interacción, en tanto el coeficiente de variación presentó un valor de 8,8% lo cual indica que los datos son confiables.

**Cuadro 13. Análisis de varianza para altura de la planta.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft(0,05)</b>	<b>Ft(0,01)</b>
<b>Bloques</b>	2	14,20	7,10	5,93*	4,10	7,56
<b>Factor A (Variedades)</b>	1	17,70	17,70	14,77**	4,96	10,00
<b>Factor B (Periodos)</b>	2	92,91	46,45	38,77**	4,10	7,56
<b>Interacción AB</b>	2	2,68	1,34	1,12 <b>NS</b>	4,10	7,56
<b>Error Experimental</b>	10	11,98	1,20			
<b>Total</b>	17	139,46				
<b>C.V. = 8,8 %</b>	Donde: NS no significativo, * significativo ( $P < 0,05$ ), ** altamente significativo ( $P < 0,01$ ), CV= coeficiente de variación.					

#### 4.3.3.1 Altura de la planta en función de las variedades



**Figura 9. Altura de la planta en función de las variedades de cebada.**

La figura 9, muestra los valores de altura de la planta en función de las variedades estudiadas, asimismo en el cuadro 14, se puede ver la prueba de Duncan (5%), donde se reporta que existe diferencia significativa entre las alturas de planta en función de las variedades, teniéndose una mayor altura en la variedad Criolla que es de 13,4 cm, poniendo de esta manera en segundo lugar a la variedad IBTA-80 con una altura de planta de 11,38 cm, presentando desviaciones estándar de 3,2 y 2,4 respectivamente.

**Cuadro 14. Prueba Duncan para altura de la planta en función de las Variedades.**

Factor A (Variedades)	Altura (cm)	Desviación estándar	Duncan (5%)
Variedad Criolla	13,4	3,2	A
Variedad IBTA-80	11,38	2,4	B

Al respecto, Navarrete (2008) obtuvo una altura de 17 cm para la cebada, donde estudió la productividad de dos gramíneas y una leguminosa para FVH en

una altitud 2221 m.s.n.m., asimismo en condiciones de desierto, Fuentes *et al.* (2011) reportó una altura de planta de FVH de 19,5 cm en una altitud de 1005 m.s.n.m. valores superiores a los presentados en este estudio. Probablemente estos reportes se deban a las condiciones climáticas que favorecen al desarrollo de la producción de FVH en especial el de la temperatura.

Sin embargo, Andrade (2003) estudió el comportamiento de tres especies de gramínea para FVH, donde obtuvo una altura de 10,67 cm en la cebada a una altitud de 1750 m.s.n.m. con un clima templado semicálido, posiblemente esto se debió a la calidad de la semilla utilizada, ya que se cuenta con un ambiente favorable para el desarrollo del cultivo.

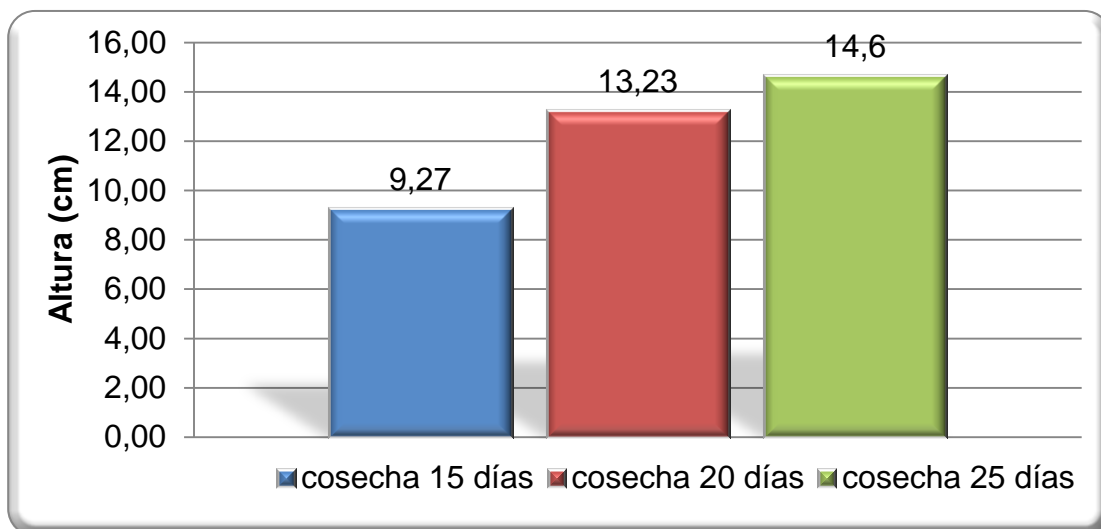
Gallardo (1997), realizó un estudio en la producción de forraje hidropónico de cebada en el altiplano, en un ambiente controlado denominado "Utayapu", donde obtuvo un rendimiento en altura de 17,7 cm. Esto probablemente se debió a que mediante este dispositivo se logró controlar las temperaturas bajas.

Álvarez (2011), aclara que el FVH de cebada alcanza una altura de 13,5 cm para las condiciones de piso alto andino donde la temperatura ambiental mínima del día alcanza a los -3°C y la máxima llega a los 21°C en un ecosistema de alta montaña situado por encima de los 3,800 metros de altitud. Lo antedicho se podría respaldar con la investigación de Carhuapoma (2014) que usó niveles del efluente de pozas de trucha sobre la producción de FVH de cebada donde reporta una altura de planta de 10,85 cm en el tratamiento testigo, experimento realizado en una zona con características similares a la anterior investigación mencionada.

Los resultados encontrados en el estudio tienen similitud a las dos últimas investigaciones mencionadas, donde la variedad Criolla presentó mayor altura de planta con 13,4 cm y la variedad IBTA-80 presentó una altura de 11,38 cm. Probablemente esta diferencia entre las alturas de las variedades en estudio se debieron al tamaño de granos de las semillas, puesto que las semillas de la variedad Criolla presentaron granos más grandes con relación a la variedad IBTA-

80, lo cual podría indicar que tuvieron más contenido de nutrientes almacenados.

#### 4.3.3.1 Altura de la planta en función de los periodos de cosecha



**Figura 10. Altura de la planta en función de los periodos de cosecha.**

En la figura anterior se presenta los valores obtenidos de altura de la planta en función de los periodos de cosecha. En la prueba de Duncan (5%) del cuadro 15, se puede ver que estadísticamente las alturas de planta a los 20 y 25 días son similares con 13,23 cm y 14,6 cm; sin embargo existe diferencia significativa con relación al periodo de cosecha de 15 días donde se tuvo menor altura de 9,27 cm, teniéndose desviaciones estándar de 1,5, 2 y 0,7 en los diferentes periodos respectivamente.

**Cuadro 15. Prueba Duncan para altura de la planta en función de los periodos de Cosecha.**

Factor B (Periodos)	Altura (cm)	Desviación estándar	Duncan
<b>Cosecha 25 días</b>	14,6	1.5	a
<b>Cosecha 20 días</b>	13,23	2	a
<b>Cosecha 15 días</b>	9,27	0.7	b

Con relación a la altura en función de los periodos de cosecha en la cebada hidropónica se encontró los siguientes reportes:

Gutiérrez *et al.* (2000), indican que la cosecha se hace cuando las plántulas han alcanzado una altura promedio de 25 cm, este desarrollo demora de 9 a 15 días, dependiendo de la temperatura, condiciones ambientales, el invernadero y la frecuencia de riego. Asimismo Less, 1983, citado por Pérez, (1987), menciona que el FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm. de altura (dependiendo del período de crecimiento).

Sin embargo, las alturas de plantas registradas en el ensayo fueron comparativamente inferiores a los valores mencionados anteriormente, además de que se obtuvo FVH en periodos mayores. Por lo antedicho, Aquino (2010), en su manual “Producción, Manejo y Uso de FVH para Zonas de Altura”, indica que la cosecha de FVH se lo debe realizar entre los 15 a 22 días.

Por lo señalado, Contreras y Tunque (2011) obtuvieron una altura de planta de 16.78 cm de altura a los 20 días de producción en una zona altiplánica. De la misma forma, Gallardo (1997), realizó un estudio en el altiplano aplicando soluciones nutritivas para la producción de FVH de cebada en un ambiente controlado denominado “Utayapu” en la que en su tratamiento testigo obtuvo una altura de 17,7 cm en 15 días, estos resultados son similares a los que obtuvo Quispe (2013) con 17,91 cm a los 18 días en el Centro Experimental Cota-Cota a 3445 m.s.n.m.

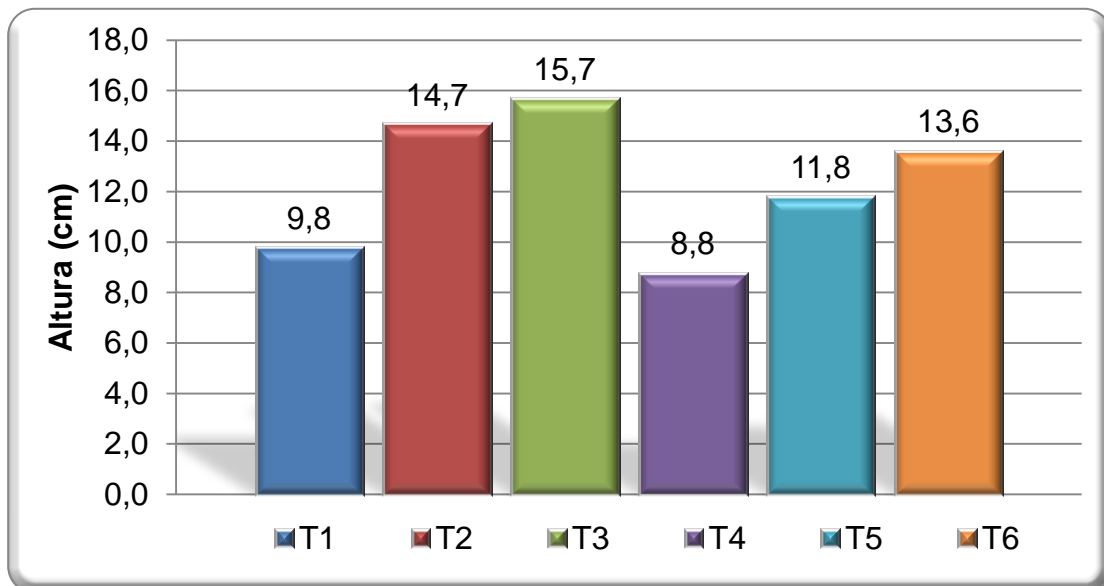
Sin embargo estos datos aún son superiores a los encontrados en la investigación, probablemente esto se debió a que el estudio se realizó en un ambiente denominado por la FAO (2001), como “Popular”, donde se hace dificultoso el control de las temperaturas en especial las mínimas. De todas formas el ambiente popular no es improductivo ya que si bien no se obtienen alturas como

las mencionadas anteriormente, es posible obtener FVH con alturas de 13 cm a 15 cm en zonas con estas características.

Al respecto, Álvarez (2011) aclara que en un piso alto andino, donde la temperatura ambiental mínima del día alcanza a los  $-3^{\circ}\text{C}$  y la máxima llega a los  $21^{\circ}\text{C}$ , en un ecosistema de alta montaña situado por encima de los 3,800 metros de altitud, el FVH de cebada alcanza una altura de 13,5 cm a los 21 días.

Carhuapoma (2014), coincide con la anterior investigación, con su estudio acerca del efecto del efluente de pozas de trucha sobre la producción de FVH de cebada, donde en el tratamiento riego solo con agua reporto que a los 8 días obtuvo una altura de 6 cm, a los 12 días de 7 cm y a los 16 días de 9 cm, en una zona con una altitud de 3716 m.s.n.m., este último valor es similar a lo obtenido a los 15 días del presente estudio que es de 9,27 cm.

Por último, de manera general podemos decir que la altura que alcance la planta al final de la etapa de producción varía de acuerdo al tiempo de producción y a las condiciones ambientales.



**Figura 11. Altura de la planta en los diferentes tratamientos.**

La figura 11, muestra los valores de altura de la planta obtenida en los diferentes tratamientos, donde se puede observar que las mayores alturas se tienen en los tratamientos 2 y 3 que es FVH de cebada de variedad Criolla cosechado a los 20 y 25 días teniéndose valores casi similar de 14,7 y 15,7 cm respectivamente.

#### 4.3.4 Rendimiento de FVH

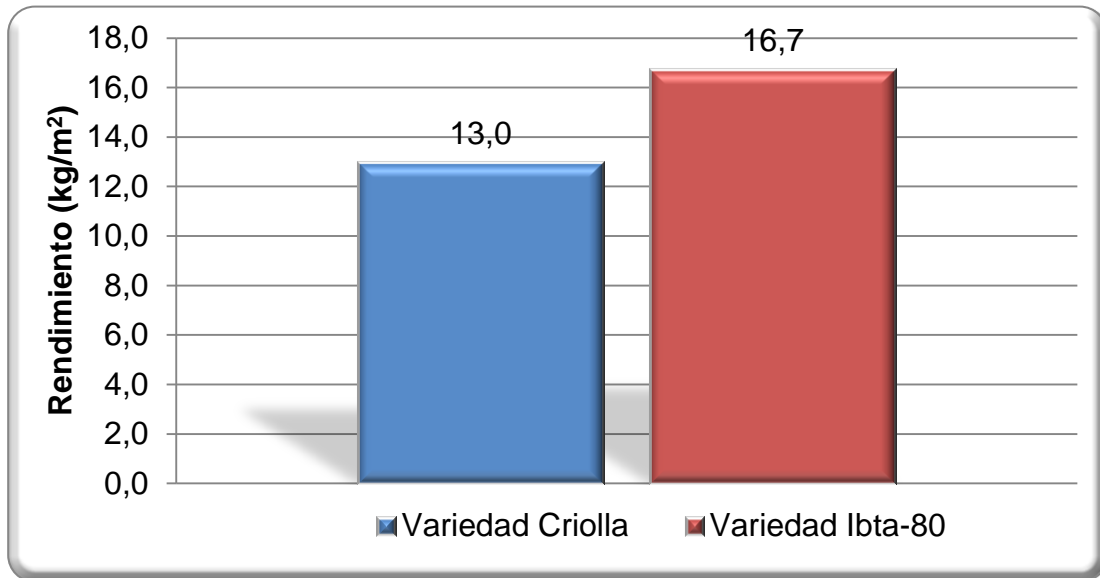
En el análisis de varianza para rendimiento de FVH del cuadro 16, se observa diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre bloques, entre variedades y entre periodos de cosecha, sin embargo hay diferencia no significativa en la interacción, con un coeficiente de variación de 1,3 % que indica que los datos son confiables.

**Cuadro 16. Análisis de varianza para rendimiento de FVH.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft(0,05)</b>	<b>Ft(0,01)</b>
<b>Bloques</b>	2	5,88	2,94	83,49**	4,10	7,56
<b>Factor A (Variedades)</b>	1	63,09	63,09	1791,31**	4,96	10,00
<b>Factor B (Periodos)</b>	2	52,40	26,20	743,86**	4,10	7,56
<b>Interacción AB</b>	2	0,11	0,05	1,53 <b>NS</b>	4,10	7,56
<b>Error Experimental</b>	10	0,35	0,04			
<b>Total</b>	17	121,84				
<b>C.V. = 1,3 %</b>	Donde: NS no significativo, * significativo ( $P < 0,05$ ), ** altamente significativo ( $P < 0,01$ ), CV= coeficiente de variación.					



#### 4.3.4.1 Rendimiento de FVH en función de las variedades



**Figura 12. Rendimiento en función de las variedades.**

Los valores de rendimiento de FVH en función de las variedades se puede ver en la figura 12, asimismo la prueba Duncan (5%) del cuadro 17, muestra que existe diferencia significativa entre los rendimientos de las variedades, teniéndose un mayor valor en la variedad IBTA-80 de 16,7 kg/m<sup>2</sup>, seguido de la variedad Criolla que fue de 13 kg/m<sup>2</sup> presentándose una desviación estándar de 2,1 en ambas variedades.

**Cuadro 17. Prueba Duncan para rendimiento de FVH en función de las Variedades.**

Factor A (Variedades)	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Duncan (5%)
<b>Variedad IBTA-80</b>	16,7	2.1	a
<b>Variedad Criolla</b>	13,0	2.1	b

Con relación a esta variable, Quispe (2013) reportó 17,1 kg/m<sup>2</sup> de FVH de cebada producida en el Centro Experimental de Cota-Cota, que se encuentra a una

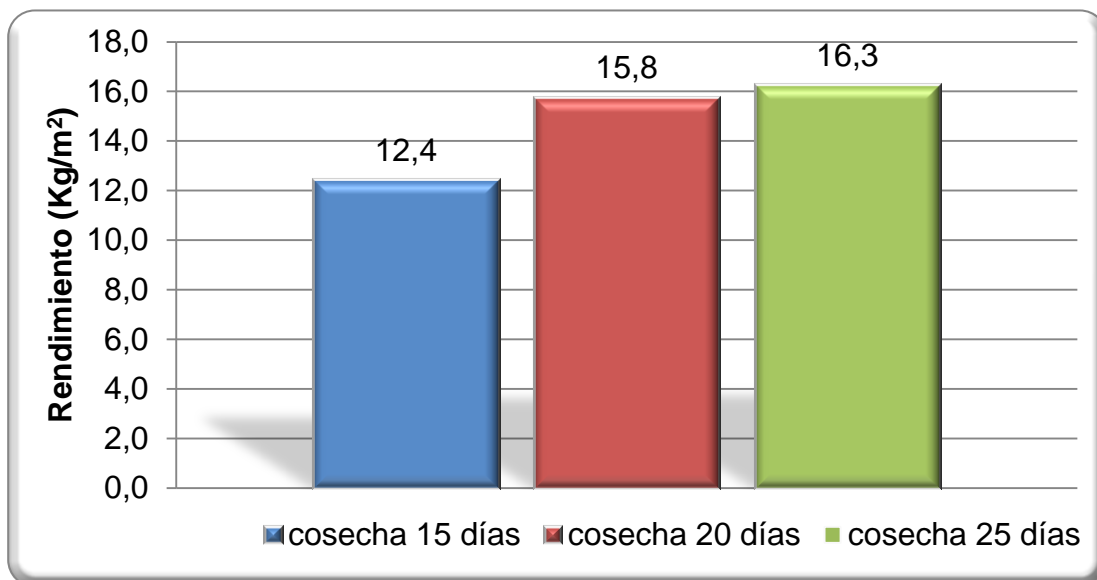
altitud de 3445 m.s.n.m.; de la misma forma, Mendoza (2009), estudió la producción de FVH de cebada en una altitud de 3792 m.s.n.m. donde obtuvo 15,40 kg/m<sup>2</sup>, sin embargo Gallardo (1997), que realizó la producción de FVH en el altiplano dentro de un ambiente controlado denominado "Utayapu" reportó solo 10 kg/m<sup>2</sup> de FVH de cebada, posiblemente esto se debió a la calidad de la semilla. Es importante hacer notar que en estos reportes no se aplicó nutrientes al igual que en este estudio donde solo se usó agua para evitar sesgos en los tratamientos.

Estos valores son próximos a los obtenidos en la investigación tanto en la variedad Criolla que fue de 13 kg/m<sup>2</sup>, como en la variedad IBTA-80 que fue de 16,7 kg/m<sup>2</sup>. Además esta diferencia entre los rendimientos de estas variedades se debe a factores relacionados con la calidad de la semilla, ya que la variedad IBTA-80, en el análisis de calidad de la semilla resultó ser de mejor calidad con relación a la variedad Criolla.

De todas formas, Carhuapoma *et al.* (2014); Contreras y Tunque (2011), obtuvieron rendimientos de 6,71 kg/m<sup>2</sup> y 9,37 kg/m<sup>2</sup> respectivamente, estos rendimientos son inferiores a lo reportado en esta investigación.

Cabe resaltar que el rendimiento, a parte de la calidad de la semilla, está relacionado con otros factores como son las densidades de siembra, las soluciones nutritivas y las condiciones de producción, los cuales ayudan a que los rendimientos sean más altos. Además de que también se debe tomar en cuenta los periodos en que se cosechan.

#### 4.3.4.1 Rendimiento de FVH en función de los periodos de cosecha



**Figura 13. Rendimiento en función de los periodos de cosecha.**

En la figura 13, se observa los rendimientos de FVH en función de los periodos de cosecha. En el cuadro 18, prueba de Duncan (5%), se puede ver que hay diferencias significativas entre los rendimientos de los periodos de cosecha, donde se observa que se tuvo mayor rendimiento de FVH en el periodo 25 días con 16,3 kg/m<sup>2</sup>, seguido del periodo 20 días con 15,8 kg/m<sup>2</sup>, y el menor rendimiento se tuvo en el periodo 15 días con 12,4 kg/m<sup>2</sup> con desviaciones estándar de 2,8, 2,5 y 2,7 en los diferentes periodos de cosecha respectivamente.

**Cuadro 18. Prueba Duncan para rendimiento de FVH en función de los periodos de cosecha.**

Factor B (Periodos)	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Duncan (5%)
Cosecha 25 días	16,3	2,8	a
Cosecha 20 días	15,77	2,5	b
Cosecha 15 días	12,43	2,7	c

Con relación a esta variable se recurrió a los siguientes reportes:

La FAO (2001), sostiene que para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH, la semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75%. Asimismo en términos generales, entre los días 12 a 14, se realiza la cosecha del FVH. Sin embargo en contraposición a esto Aquino (2010) y Álvarez (2011), mencionan que en zonas con altitudes elevadas la cosecha se la realiza entre los 15 a 22 días.

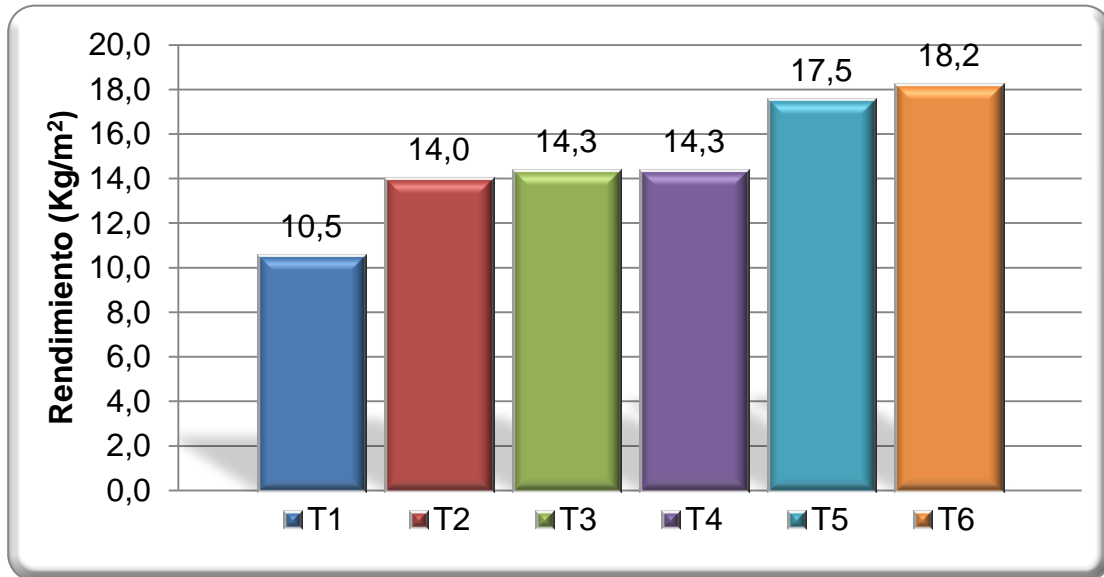
Al respecto Gallardo (1997), en el altiplano, dentro de un ambiente controlado denominado “Utayapu” obtuvo un rendimiento de FVH de cebada de 10 Kg/ m<sup>2</sup> a los 15 días, asimismo Quispe (2013), obtuvo 17,1 kg/m<sup>2</sup> de FVH de cebada en 18 días en el Centro Experimental de Cota-Cota situada a una altitud de 3445 m.s.n.m. Es importante hacer notar que en estos reportes no se aplicó nutrientes al igual que en este estudio donde solo se usó agua para evitar sesgos en los tratamientos.

Asimismo, Álvarez (2011), en un ecosistema de alta montaña situado por encima de los 3,800 metros de altitud obtiene 16 kg/m<sup>2</sup> a los 21 días de cosecha.

Los valores anteriormente reportados son próximos a los valores obtenidos en esta investigación en la que se tuvo 12,43 kg/m<sup>2</sup> en el día 15, 15,77 kg/m<sup>2</sup> en el día 20, y 16,3 kg/m<sup>2</sup> en el día 25. Mientras que Carhuapoma (2014), solo obtuvo 6,71 kg/m<sup>2</sup> de producción de FVH de cebada en 16 días de cosecha, posiblemente esto se debió a la calidad de la semilla.

Como se explicó anteriormente, los rendimientos de FVH están relacionados con factores como la calidad de la semilla, densidades de siembra, las soluciones nutritivas y las condiciones de producción, los cuales ayudan a que los rendimientos sean más altos. Además que, de acuerdo a los resultados se puede observar que el rendimiento en peso de materia verde aumenta con el tiempo, sin

embargo hay que tomar en cuenta que existe un punto en el que el peso ya no aumenta.



**Figura 14. Rendimiento de FVH en los diferentes tratamientos**

Como se puede ver en la figura 14, los valores de rendimiento se incrementan a medida que aumenta el periodo de cosecha, asimismo se puede ver que los valores más altos de rendimiento se encuentran entre los días de cosecha 20 y 25 en ambas variedades.

#### **4.3.5 Relación de conversión de semilla a forraje (RCS)**

En el análisis de varianza para relación de conversión semilla a forraje del cuadro 19, se puede ver la existencia de diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre los bloques, entre las variedades y entre los periodos de cosecha, sin embargo la interacción presenta diferencia no significativa. Este ANVA tiene un coeficiente de variación de 1,5% lo cual indica confiabilidad en los datos.

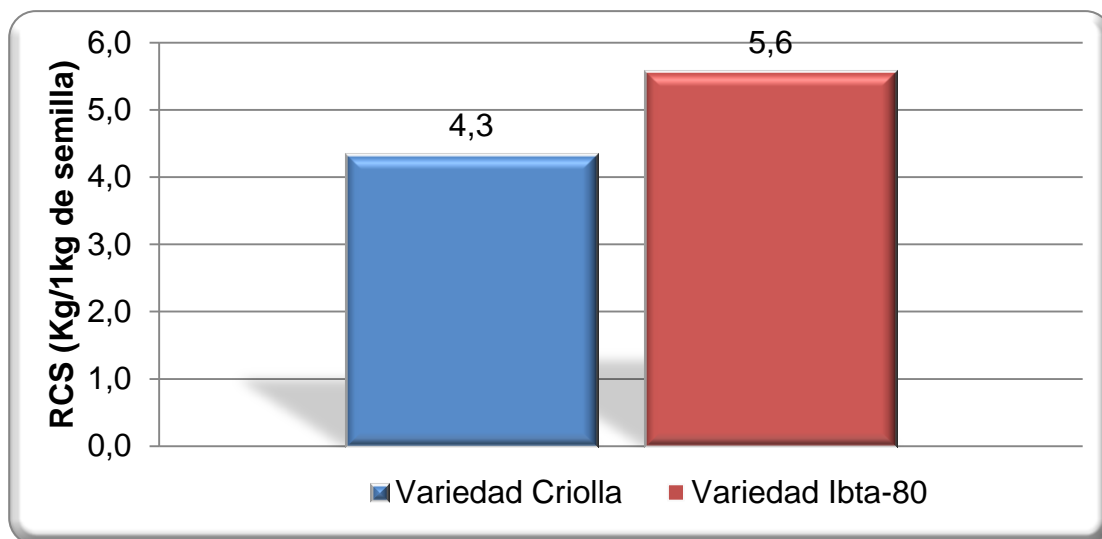
**Cuadro 19. Análisis de varianza para relación de conversión de semilla a forraje (RCS).**

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(0,05)	Ft(0,01)
<b>Bloques</b>	2	0,65	0,33	56,36**	4,10	7,56
<b>Factor A (Variedades)</b>	1	6,92	6,92	1192,97**	4,96	10,00
<b>Factor B (Periodos)</b>	2	5,85	2,93	504,31**	4,10	7,56
<b>Interacción AB</b>	2	0,02	0,01	1,33 NS	4,10	7,56
<b>Error Experimental</b>	10	0,06	0,01			
<b>Total</b>	17	13,50				

Donde: NS no significativo, \* significativo (P< 0.05),  
 \*\* altamente significativo (P< 0.01),  
 CV= coeficiente de variación.

**C.V. = 1.5 %**

#### 4.3.5.1 Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de las variedades



**Figura 15. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de las variedades.**

La figura 15, muestra los valores de la relación de conversión de semilla a forraje en función de las variedades, mientras que en el cuadro 20, se muestra la

prueba de Duncan (5%) donde se aprecia la existencia de diferencia significativa entre las RCS de las variedades, teniéndose mayor conversión en la variedad IBTA-80 con 1:5.6, seguido de la variedad Criolla con 1:4.3 teniéndose una desviación estándar de 0.7 en ambas variedades.

**Cuadro 20. Prueba Duncan para relación de conversión de semilla a forraje en función de las variedades.**

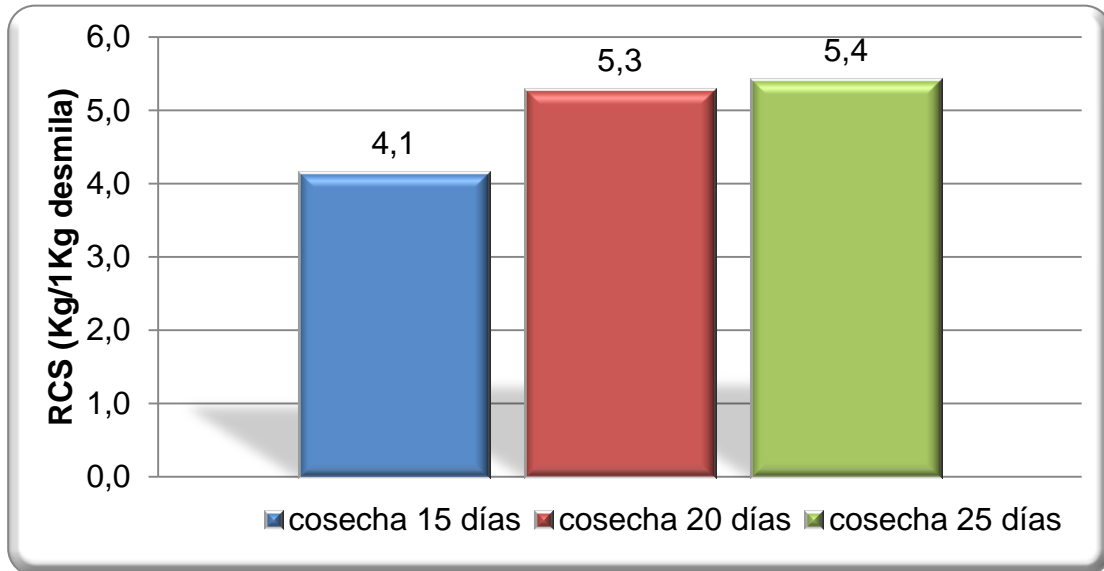
<b>Factor A (Variedades)</b>	<b>RCS (kg/kg de semilla)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Duncan (5%)</b>
<b>Variedad IBTA-80</b>	5,6	0,7	a
<b>Variedad Criolla</b>	4,33	0,7	b

Valdivia (1997), señala que una relación de conversión de semilla a forraje (RCS) de 1:5 es un buen logro, pero lo importante es alcanzar rendimientos de 1:6 ó 1:7. Por su parte, Álvarez (2011) menciona que en condiciones de piso alto andino donde la temperatura ambiental mínima del día alcanza a los -3°C y la máxima llega a los 21°C, la RCS para el caso de la cebada es de 1:5.

En este estudio se logró una relación de 1:5.6 para la variedad IBTA-80 y 1:4.33 para la variedad Criolla, lo cual significa que de cada kg de semilla que se usó se obtuvieron 6 y 4,33 kg de FVH respectivamente. Esta diferencia entre las RCS de estas variedades se debe a factores relacionados con la calidad de la semilla, ya que la variedad IBTA-80, en el análisis de calidad de semilla resulto ser de mejor calidad con relación a la variedad Criolla. Asimismo, Carhuapoma (2014), en una altitud de 3716 m.s.n.m. obtuvo una RCS de 1:3.7, valor inferior al obtenido en esta investigación.

Por otra parte, la FAO (2001) menciona valores de RCS de 1:12 y 1:18; probablemente esto se deba a las condiciones diferentes de ambiente en las que se realizaron estas investigaciones.

#### 4.3.5.1 Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de los periodos de cosecha



**Figura 16. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de los periodos de cosecha.**

La figura 16, presenta los valores de la relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en función de los periodos de cosecha, asimismo en el cuadro 21, Prueba de Duncan (5%) se puede observar que estadísticamente las RCS de los periodos 20 y 25 son similares con 1:5.3 y 1:5.4 respectivamente, mientras que se tiene una diferencia significativa con la RCS del periodo 15, donde se presenta la menor RCS de 1:4,1, teniéndose desviaciones estándar de 0,9, 0,8 y 0,9 en los diferentes periodos de cosecha respectivamente.

**Cuadro 21. Prueba Duncan para relación de conversión de semilla a forraje en función de los periodos de cosecha.**

Factor B (Periodos)	RCS (kg/kg de semilla)	Desviación estándar	Duncan (5%)
Cosecha 25 días	5,4	0,9	a
Cosecha 20 días	5,3	0,8	a
Cosecha 15 días	4,1	0,9	b

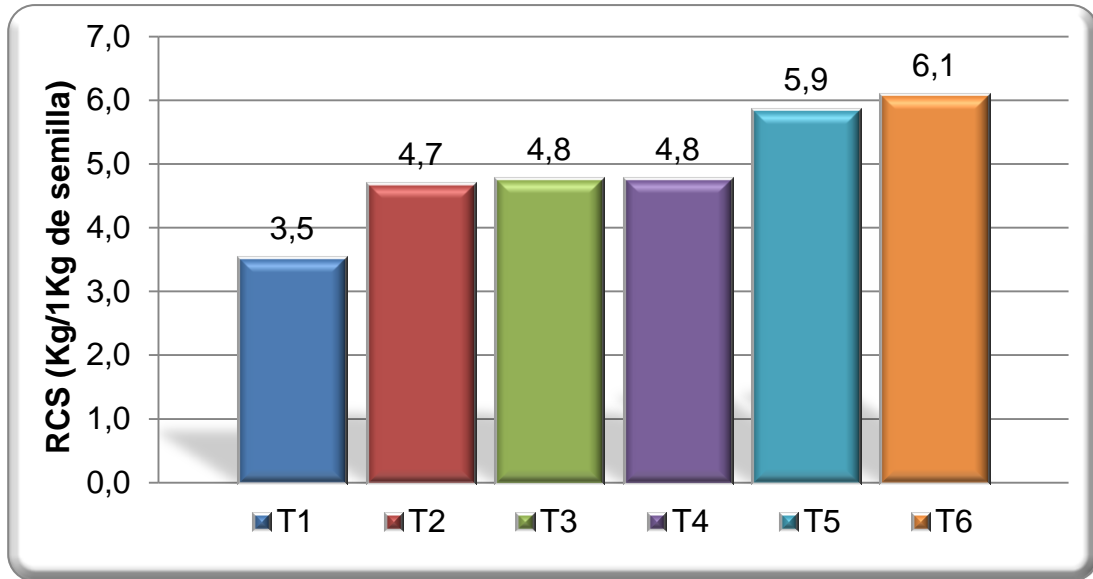


Valdivia (1997), señala que una RCS de 1:5 es un buen logro, pero lo importante es alcanzar rendimientos de 1:6 ó 1:7. Por su parte, Álvarez (2011), menciona que para las condiciones de piso alto andino la RCS para el caso de la cebada es de 1:5 a los 21 días de cosecha.

En este estudio se logró una RCS de 1:5.4 en la cosecha a los 25 días, 1:5.3 en la cosecha a los 20 días y 1:4.1 en la cosecha a los 15 días de cosecha, lo cual significa que de cada kg de semilla que se usó se obtuvieron 5.4, 5.3 y 4.1 kg de FVH respectivamente. Esta diferencia entre los RCS se debe a factores relacionados con el tiempo a la cosecha.

La FAO (2001), menciona que se realizaron trabajos de validación de tecnología sobre FVH realizados en Rincón de la Bolsa, Uruguay en 1996 y 1997, donde han obtenido cosechas de FVH con un máximo de RCS de 1:22 de FVH de cebada cervecera a los 17 días, utilizando riegos con la solución nutritiva de FAO al 50%. Sin embargo, la misma cita, menciona que esta alta productividad de biomasa fue obtenida a costa de una pérdida en la calidad nutricional del FVH.

Cabe destacar que en varios estudios sobre FVH, afirman que el punto óptimo de cosecha del forraje verde no debe de pasar de los 12 días, puesto que a partir de este, las propiedades nutritivas empiezan a descender. Sin embargo, Aquino (2010) y Álvarez (2011) resuelven que la cosecha no debe pasar los 22 días. Seguramente esta diferencia se debe a que las investigaciones se realizaron en diferentes condiciones climáticas y geográficas.



**Figura 17. Relación de conversión de semilla a forraje (RCS) en los diferentes tratamientos.**

En la figura 17, se puede ver que los valores de RCS se incrementan a medida que aumenta el periodo de cosecha, asimismo se puede ver que los valores más altos de rendimiento se encuentran entre los días de cosecha 20 y 25 en ambas variedades.

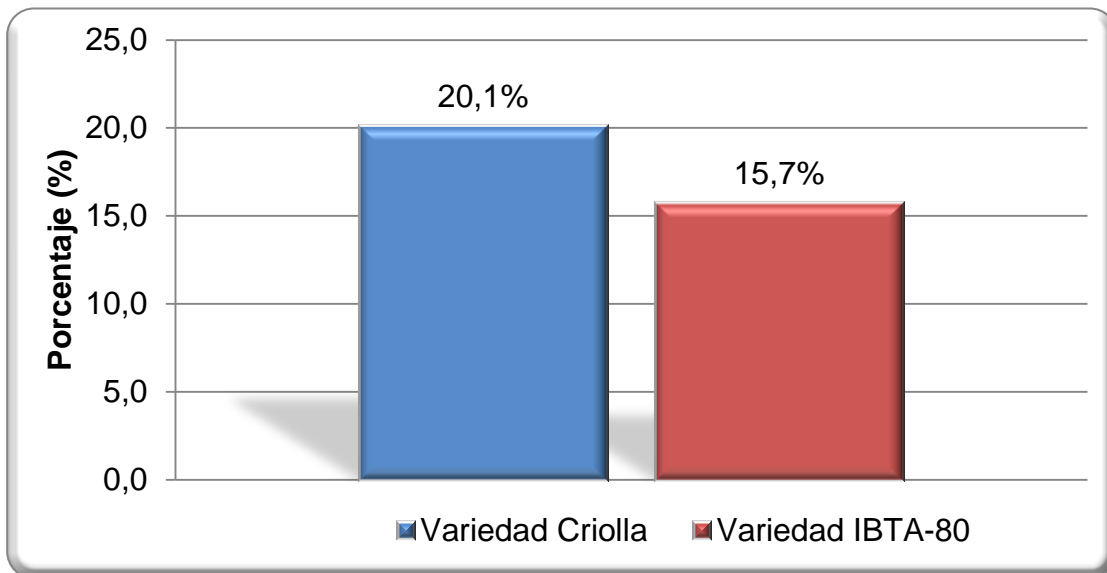
#### **4.3.6 Porcentaje de materia seca (ms)**

El análisis de varianza del cuadro 22, muestra que existen diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre bloques, entre variedades, entre periodos, así como también en la interacción. Este análisis de varianza tiene un coeficiente de variación de 1 % lo cual indica que los datos son confiables.

**Cuadro 22. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca.**

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(0,05)	Ft(0,01)
<b>Bloques</b>	2	0,00	0,000665	27,51**	4,10	7,56
<b>Factor A (Variedades)</b>	1	0,06	0,061382	2538,61**	4,96	10,00
<b>Factor B (Periodos)</b>	2	0,11	0,056258	2326,67**	4,10	7,56
<b>Interacción AB</b>	2	0,00	0,002382	98,51**	4,10	7,56
<b>Error Experimental</b>	10	0,00	0,000024			
<b>Total</b>	17	0,18				
<b>C.V. = 1 %</b>	Donde: NS no significativo, * significativo ( $P < 0.05$ ), ** altamente significativo ( $P < 0.01$ ), CV= coeficiente de variación.					

#### 4.3.6.1. Porcentaje de materia seca en función de las variedades



**Figura 18. Porcentaje de materia seca en función de las variedades.**

La figura 18, muestra los valores de porcentaje de materia seca obtenidos en función de las variedades, asimismo en la prueba de Duncan (5%) del cuadro 23, se evidencia que existen diferencias significativas en porcentaje de materia seca en las variedades, teniéndose mayor porcentaje de materia seca en la variedad Criolla

con 20,1%, dejando en segundo lugar a la variedad IBTA-80 con 15,74 % de materia seca, presentándose desviaciones estándar de 3,1 y 4,2 en cada variedad respectivamente.

**Cuadro 23. Prueba Duncan para porcentaje de materia seca en función de las variedades.**

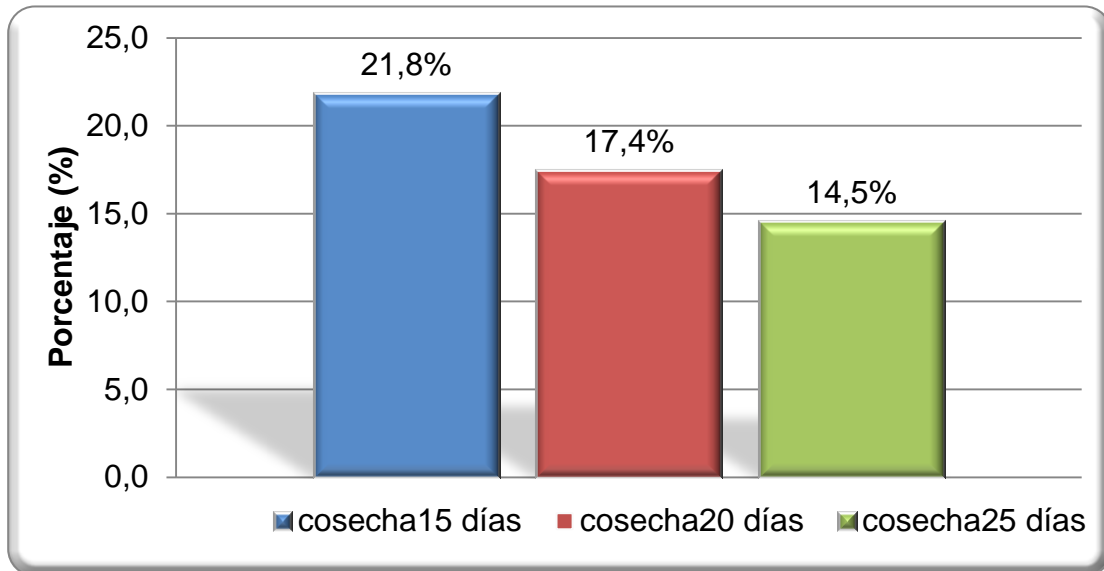
<b>Factor A (Variedades)</b>	<b>Porcentaje de materia seca (%)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Duncan (5%)</b>
<b>Variedad Criolla</b>	20,1	3.1	a
<b>Variedad IBTA-80</b>	15,74	4,2	b

Al respecto, Aquino (2010) reportó 14.4 % de materia seca (ms); Gallardo (1996) reportó 22 % de ms; Quiñones (2011) de 12,02 % de ms; Mendoza (2009) de 20,29% de ms; Quispe (2013) de 15,8%. Todos estos valores citados son de FVH de cebada, los cuales varían unos con otros, de todas formas se puede ver que los valores obtenidos en este estudio están dentro de los valores reportados por las diferentes investigaciones mencionadas.

En los resultados obtenidos en los porcentajes de materia seca de las variedades se puede ver que la variedad Criolla tiene mayor porcentaje de materia seca que es de 20,1 % con relación a la variedad IBTA-80 que solo presento un porcentaje de materia seca de 15,74 %. Posiblemente esto se debe a que la semilla de variedad Criolla presento un porcentaje de germinación bajo (de 75%), por lo que las semillas que no germinaron llegaron a favorecer el aumento de la materia seca.

De todas formas, es importante mencionar que la materia seca de FVH es mejor analizarla en función al tiempo, ya que este depende del momento en que se cosechara.

#### 4.3.6.2 Porcentaje de materia seca en función de los periodos de cosecha



**Figura 19. Porcentaje de materia seca en función de los periodos de cosecha**

La figura 19, muestra el porcentaje de materia seca obtenido en función de los periodos de cosecha; asimismo en el cuadro 24, prueba de Duncan, se observa que hay diferencias altamente significativas entre los periodos de cosecha, teniéndose mayor porcentaje a los 15 días de cosecha con 21,8 %, reduciéndose a los 20 días a 17,4%, y reduciéndose aún más hasta el día 25 a 14,5%, con desviaciones estándar de 2,4, 2,9 y 4 respectivamente.

**Cuadro 24. Prueba Duncan para porcentaje de materia seca en función de los periodos de cosecha.**

Factor B (Periodos de cosecha)	Porcentaje de materia seca (%)	Desviación estándar	Duncan (5%)
Cosecha 15 días	21,8	2,4	a
Cosecha 20 días	17,4	2,9	b
Cosecha 25 días	14,5	4,0	c

Camero (2008), en su estudio, efecto de diferentes edades de cosecha sobre la producción de FVH en una altitud de 160 m.s.n.m. y con una temperatura media general de 25.6 °C, obtuvo 20.98 % de ms en el día 8, 14.6 % de ms en el día 12, 12% de ms en el día 16. Mientras que en los resultados obtenidos en la investigación se obtuvo 21.8% de ms en el día 15, 17,4 % de ms en el día 20 y 14,5 % de ms en el día 25.

Al respecto, Níguez (1988) citado por la FAO (2001), menciona que la mayor riqueza nutricional de un fvh se alcanza entre los días 7 y 8 por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción, además la misma cita menciona que ciclos más largos no serían convenientes debido a la disminución de materia seca y de calidad en general del fvh resultante.

Lo antedicho se podría validar con los valores obtenidos en la presente investigación, sin embargo cabe destacar que los valores de mayor riqueza nutricional no necesariamente serían a los 7 y 8 días, ya que como se puede ver en los resultados reportados por Camero (2008), por las condiciones de la localidad donde se realizó, la pérdida de materia seca en función del tiempo es más rápida con relación a la reportada en la investigación, la cual se realizó en un ecosistema de alta montaña situada a una altitud de 4178 m.s.n.m.

Por lo tanto para poder determinar un patrón que determine los valores de mayor riqueza nutricional en condiciones de zonas con altitudes elevadas sería necesario realizar el análisis del contenido de nutrientes en diferentes periodos de cosecha.

Finalmente, se comprueba que el contenido de materia seca varía en función de la edad a la que se coseche el forraje, también se comprueba que la pérdida de fitomasa resulta inevitable a medida que pasa el tiempo, esto avala el concepto de

que períodos “siembra – cosecha” prolongados son desfavorables para la producción de fvh. Sin embargo habrá que tomar en cuenta un nuevo modelo de producción para zonas de altitud elevada.

#### 4.3.6.3 Análisis de efectos simples de la interacción variedades por periodos con respecto al porcentaje de materia seca.

El análisis de varianza de efectos simples del cuadro 25, determinó la existencia de diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) en el porcentaje de materia seca entre variedades dentro de los diferentes periodos de cosecha (15, 20 y 25).

**Cuadro 25. Análisis de varianza de efectos simples para porcentaje de materia seca.**

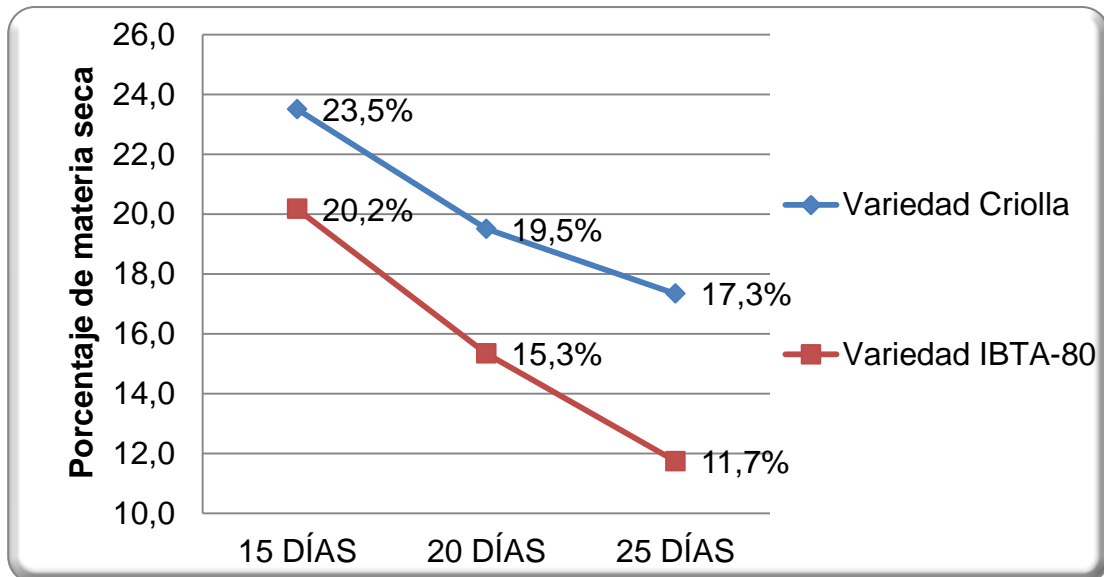
FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(0,05)	Ft(0,01)
<b>Entre Variedades en el periodo 15</b>	2	0,210954	0,105477	26,37**	4,1	7,56
<b>Entre Variedades en el periodo 20</b>	2	0,166243	0,083121	20,78**	4,1	7,56
<b>Entre Variedades en el periodo 25</b>	2	0,139097	0,069548	17,39**	4,1	7,56
<b>Error experimental</b>	10	0,043588	0,004359			

Donde:

NS no significativo, \* significativo ( $P < 0,05$ ), \*\* altamente significativo ( $P < 0,01$ ).

En la figura 20, se observa el análisis de efectos simples con respecto al porcentaje de materia seca, se puede ver que los mayores valores de materia seca se tienen con la variedad Criolla en los diferentes periodos, asimismo se puede ver que con el transcurrir del tiempo los valores de porcentaje de materia seca disminuyen en ambas variedades, el valor más alto de porcentaje de materia seca se obtiene a los 15 días con la variedad Criolla con 23,5 %.

Es importante recalcar que si bien en el día 15 se obtiene los más altos valores de materia seca en relación a los otros periodos, la decisión para realizar la cosecha habrá que compatibilizarlo con otras variables más como la altura de la planta, rendimiento y valor nutricional.



**Figura 20. Análisis de efectos simples del porcentaje de materia seca.**

#### **4.4 Costos de producción**

Los cálculos de costos de producción se los realizó mediante el formato de la FAO (2001), los detalles se presentan a continuación:

##### **4.4.1 Costos fijos**

Este se compone de aquellos elementos imprescindibles a comprar, para llevar adelante nuestro proyecto. Por lo tanto, definiremos a los Costos Fijos de producción, como aquellos costos que se refieren al equipamiento para la producción del FVH (FAO, 2001).



**Cuadro 26. Costos fijos para la producción de FVH (Bs/ m<sup>2</sup>) (vida útil 5 años).**

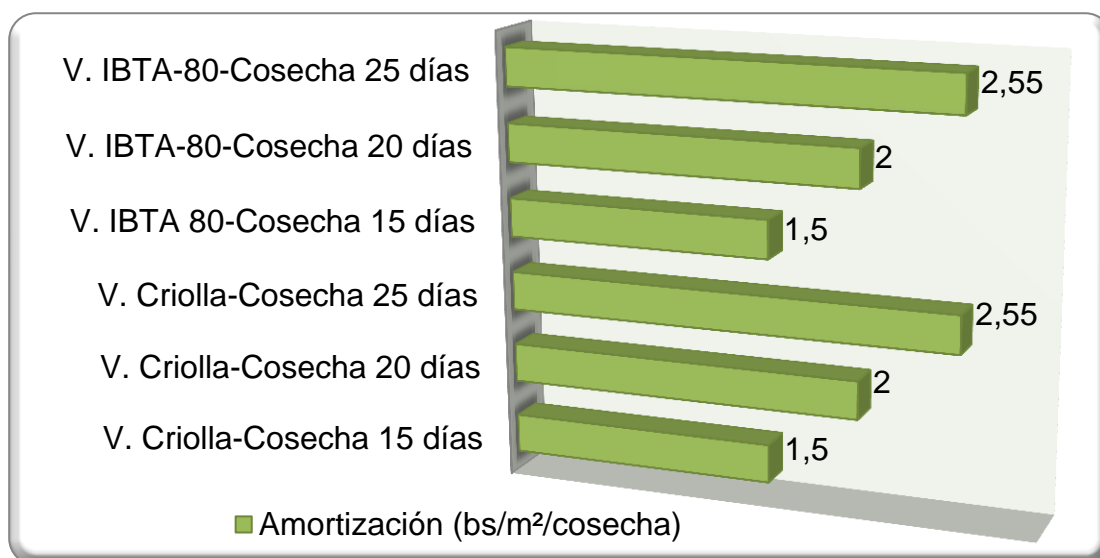
ITEM	CEBADA VARIEDAD CRIOLLA			CEBADA VARIEDAD IBTA-80		
	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Estructura del invernadero	89,43	89,43	89,43	89,43	89,43	89,43
Estantería de producción	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01	20,01
Bandejas de cultivo	47,32	47,32	47,32	47,32	47,32	47,32
Equipos para la producción de FVH	29,39	29,39	29,39	29,39	29,39	29,39
<b>Total</b>	<b>186,15</b>	<b>186,15</b>	<b>186,15</b>	<b>186,15</b>	<b>186,15</b>	<b>186,15</b>

El cuadro 26, muestra los costos fijos para la producción de FVH por cada m<sup>2</sup> para 5 años de vida útil, donde se observa que por cada m<sup>2</sup> se invierte 186.15 bs. Esto tomando en cuenta que la infraestructura es una instalación popular, la cual es la infraestructura más económica denominada así por la FAO (2001). Cabe resaltar que estos costos fijos pueden variar dependiendo del nivel tecnológico que se utilice.

**Cuadro 27. Costos fijos de amortización (bs/m<sup>2</sup>/ cosecha).**

ITEM	Cebada variedad Criolla			Cebada variedad IBTA-80		
	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Depreciación (años)	5	5	5	5	5	5
<b>Amortización (bs/m<sup>2</sup>/año)</b>	<b>37,23</b>	<b>37,23</b>	<b>37,23</b>	<b>37,23</b>	<b>37,23</b>	<b>37,23</b>
<b>Amortización (bs/m<sup>2</sup>/cosecha)</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,55</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,55</b>

El cuadro 27, muestra los costos fijos de amortización en bs por metro cuadrado por cosecha en los diferentes tratamientos, donde se puede ver que de acuerdo al desgaste de los materiales a los 15 días de cosecha se tiene una inversión de 1,5 bs/m<sup>2</sup>/cosecha, a los 20 días una inversión de 2 bs/m<sup>2</sup>/cosecha y a los 25 días 2,55 bs/m<sup>2</sup>/cosecha. Se puede ver que a medida que se incrementa el tiempo los valores aumentan en 0,5 bs.



**Figura 21. Costos fijos de amortización por metro cuadrado y por cosecha en los diferentes tratamientos.**

En la figura 21, se puede ver la tendencia que siguen los costos fijos a medida que pasa el tiempo, donde se puede ver que por cada 5 días en el aumento del periodo de cosecha, habrá que incrementar 0,5 bs en los costos fijos de amortización por cada m<sup>2</sup>, por cada cosecha.

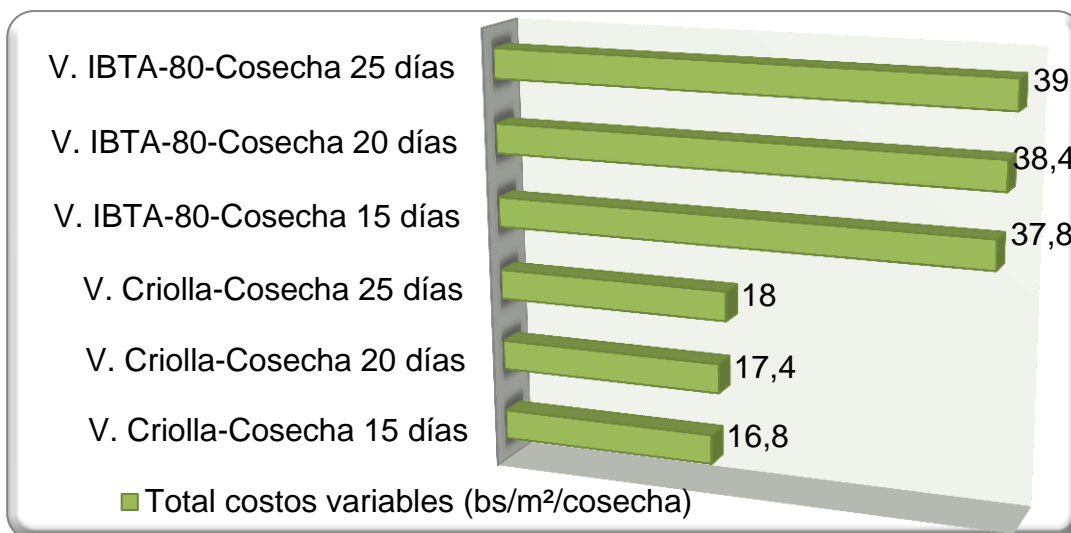
#### 4.4.2 Costos variables

Se define como costos variables de un cultivo, a aquellos gastos operacionales o de funcionamiento, que se encuentran en directa relación a la cantidad que produzcamos. Fundamentalmente estos son bienes que no se recuperan, sino que se transforman conjuntamente con la semilla germinada en nuestro producto final (FAO, 2001).

**Cuadro 28. Costos variables por metro cuadrado por cada cosecha en los diferentes tratamientos.**

ITEM	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Semilla	15	15	15	36	36	36
Mano de obra	1,8	2,4	3	1,8	2,4	3
<b>Total costos variables</b>	<b>16,8</b>	<b>17,4</b>	<b>18</b>	<b>37,8</b>	<b>38,4</b>	<b>39</b>

En el cuadro 28, se puede ver los costos variables por metro cuadrado por cosecha en los diferentes tratamientos, donde se aprecia que el mayor costo se tiene en la semilla, asimismo se puede ver que la semilla de cebada de la variedad Criolla tiene un costo de 15 bs/m<sup>2</sup> mientras que la semilla de variedad IBTA-80 tiene un costo de 36 bs/m<sup>2</sup>, haciéndose una diferencia de 19 bs entre la una de la otra. Asimismo en el mismo cuadro se puede ver que el costo de mano de obra va incrementándose a medida que se aumenta los días a la cosecha (grafica 22).



**Figura 22. Costos variables (bs/m<sup>2</sup>/cosecha) en los diferentes tratamientos.**

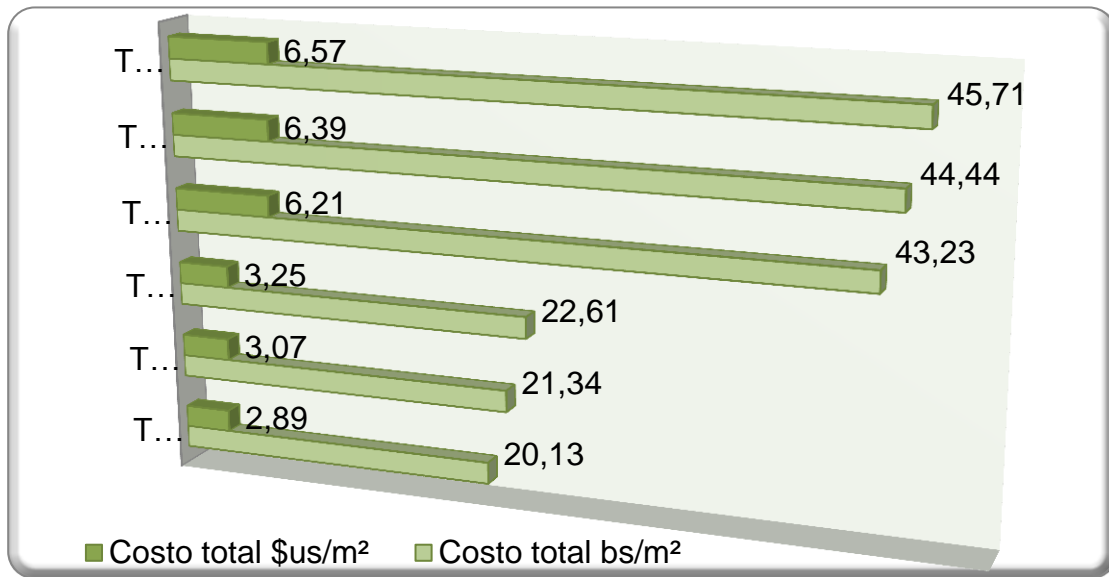
#### 4.4.2 Costo total de producción

El costo total de producción es la sumatoria de los costos fijos con los costos variables, los cuales se presentan a continuación:

**Cuadro 29. Costos total de producción de FVH (bs y \$us /m<sup>2</sup>/cosecha).**

ITEM	Variedad Criolla			Variedad IBTA-80		
	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Total costos fijos	1,5	2	2,55	1,5	2	2,55
Total costos variables	16,8	17,4	18	37,8	38,4	39
Imprevistos 10 %	1,83	1,94	2,055	3,93	4,04	4,155
<b>Costo total (bs/m<sup>2</sup>)</b>	<b>20,13</b>	<b>21,34</b>	<b>22,605</b>	<b>43,23</b>	<b>44,44</b>	<b>45,705</b>
<b>Costo total (\$us/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2,89</b>	<b>3,06</b>	<b>3,25</b>	<b>6,21</b>	<b>6,39</b>	<b>6,56</b>
Tipo de cambio: 1 \$us = 6,96 bs						

El cuadro 29, muestra los valores de costos de producción de los diferentes tratamientos, donde se puede destacar que a medida que aumentan los días a la cosecha los costos se incrementan, sin embargo este incremento no es tan significativo con relación a las variedades empleadas, donde para producir FVH de cebada de la variedad IBTA-80 se tuvo que invertir poco más del doble que para producir FVH de cebada de la variedad Criolla en los diferentes periodos.



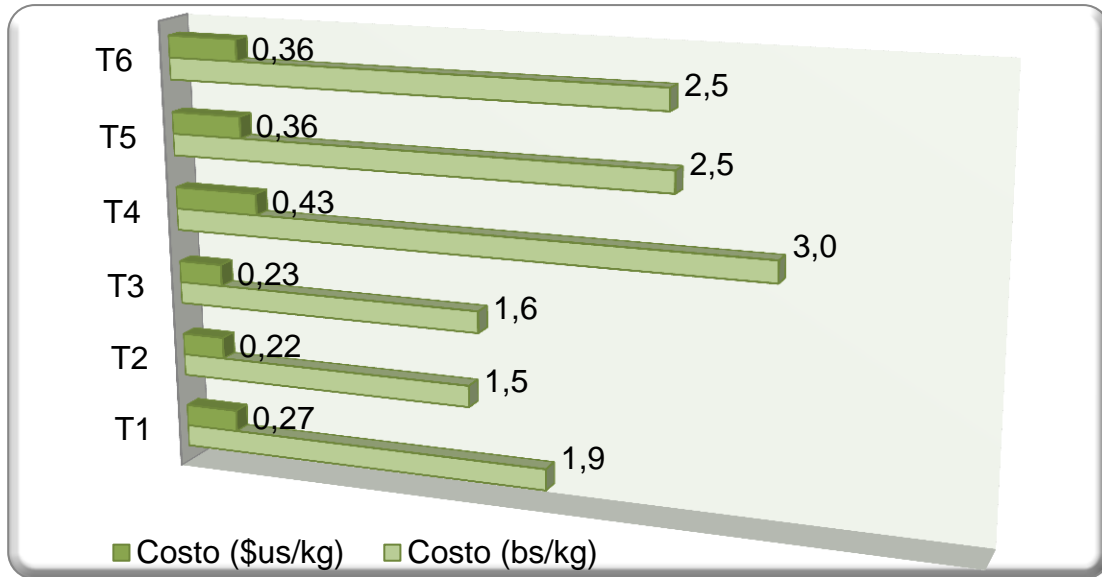
**Figura 23. Costos de producción de 1 m<sup>2</sup> de FVH cosechado, en los diferentes tratamientos.**

En la figura 23, se puede apreciar que para producir FVH de cebada de la variedad IBTA-80, se requiere poco más del doble de la inversión que para producir FVH de cebada de la variedad Criolla en los diferentes periodos.

**Cuadro 30. Costos de producción por cada kilogramo de forraje obtenido en función del rendimiento de cada tratamiento.**

	<b>Cosecha 15 días</b>	<b>Cosecha 20 días</b>	<b>Cosecha 25 días</b>	<b>Cosecha 15 días</b>	<b>Cosecha 20 días</b>	<b>Cosecha 25 días</b>
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	10,5	14,0	14,3	14,3	17,5	18,2
Costo total bs/m <sup>2</sup>	20,13	21,34	22,6	43,23	44,44	45,705
<b>Costo (bs/kg)</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>3,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>
<b>Costo (\$us/kg)</b>	<b>0,27</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>	<b>0,43</b>	<b>0,36</b>	<b>0,36</b>
Tipo de cambio: 1 \$us = 6,96 bs						

En el cuadro 30, se puede apreciar los costos de producir 1 kg de FVH de cebada en los diferentes tratamientos, donde se puede ver que a medida que se incrementa el periodo de cosecha los costos disminuyen, esto debido a que el rendimiento de FVH aumenta con el tiempo, sin embargo esta reducción no es tan significativa como si lo es cuando se comparan las variedades, por ejemplo de acuerdo a este cuadro para producir 1 Kg de FVH de cebada de la variedad Criolla a los 15 días, el costo es de 1,9 bs, mientras que para producir 1kg de FVH de cebada de la variedad IBTA-80 en los mismos 15 días, el costo es de 3 bs.



**Figura 24. Costo de producción de 1 kg de FVH en función del rendimiento obtenido en los diferentes tratamientos.**

Gómez *et al.* (2012), indica que para escoger las semillas se debe tener en cuenta que las semillas certificadas son muy caras y tienen agregados de sustancias químicas que pueden no ser aptas para el cultivo de FVH sino de plantas de producción, mientras que las semillas no certificadas son las ideales porque no son costosas, pero conseguirlas no es fácil y se debe tratar de establecer relación directa con un productor de semillas que sea responsable y que nos permita probar las semillas antes de comprarlas. Asimismo, Santander (2006), coincide con que las semillas no certificadas son las ideales porque no son costosas, sin embargo menciona que no se debe descuidar su calidad.

Por su parte, la FAO (2001) indica que en términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local.

Asimismo, la FAO (2001) menciona 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 gran ventaja que tiene este sistema de producción es 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.

#### 4.4.3 Relación beneficio-costo

**Cuadro 31. Relación Beneficio-Costo en los diferentes tratamientos.**

	Variedad Criolla			Variedad IBTA-80		
	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días	Cosecha 15 días	Cosecha 20 días	Cosecha 25 días
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>Costo de producción</b>	20,13	21,34	22,6	43,23	44,44	45,70
<b>Rendimiento (R)</b>	10,5	14,0	14,3	14,3	17,5	18,2
<b>Precio/kg (P)</b>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>IB=R*P</b>	26,25	35	35,75	35,75	43,75	45,5
<b>B/C</b>	1,30	1,64	1,58	0,83	0,98	0,99

En el cuadro 31, se muestra la relación beneficio-costo en los diferentes tratamientos, donde se puede ver que este aumenta gradualmente en los periodos, sin embargo la diferencia es bastante notoria cuando se comparan las relaciones B/C de las variedades en la que en el FVH de cebada de la variedad Criolla se logra valores por encima de 1 lo cual significa que se obtienen ganancias, mientras que los valores de la relación B/C de la variedad IBTA-80 arrojan valores por



debajo de 1, lo cual significa que no se tienen ganancias además de que no se logra recuperar el costo invertido.

## 5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, los resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente:

- En el análisis de la calidad de la semilla, la variedad IBTA-80 resulto con mayores valores de calidad con respecto a la semilla de la variedad Criolla, sin embargo los valores de calidad de la variedad Criolla se encuentran dentro de lo establecido para su utilización en la producción de FVH.
- De acuerdo a los resultados, la calidad de la semilla es directamente proporcional a los parámetros productivos del FVH a obtener, de esta manera se puede afirmar que si se cuenta con semilla de alta calidad, la productividad del FVH se incrementara.
- Con relación a la productividad de las variedades, la variedad IBTA-80 presento mayores valores productivos en algunos parámetros como precocidad en la germinación y emergencia, rendimiento de FVH, relación de conversión de semilla a forraje, sin embargo la variedad Criolla presento mayores valores productivos en altura de la planta y porcentaje de materia seca.
- Los valores productivos presentados tanto en la variedad IBTA-80 como en la variedad Criolla, se encuentran dentro de los valores obtenidos en otras investigaciones realizadas en las mismas condiciones.
- En ecosistemas como el altiplano situados en altitudes elevadas, los periodos productivos siembra-cosecha de FVH son diferentes a los mencionados por algunas investigaciones, donde se menciona periodos de 9 a 12 días debido a que se realizaron en condiciones diferentes.

- De acuerdo a los parámetros productivos obtenidos en esta investigación el mejor periodo de cosecha es a los 20 días. Tomándose en cuenta la infraestructura y la localidad en donde se realizó esta investigación.
- En los resultados de los costos de producción, para producir 1 m<sup>2</sup> de FVH con semilla certificada el costo de producción es dos veces más, que para producir 1 m<sup>2</sup> de FVH con semilla no certificada.
- De acuerdo a los rendimientos obtenidos en esta investigación, el costo para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad Criolla a los 20 días es de 1,5 bs; mientras que para producir 1 kg de FVH de cebada de la variedad IBTA-80 en los mismos 20 días es de 2,5 bs.
- En la relación Beneficio-costos (R/C), producir FVH de cebada de la variedad Criolla (semilla no certificada) resulta factible, debido a que se obtiene el retorno del costo así como también ganancias, mientras que la relación B/C de FVH producido con la variedad IBTA-80 (semilla certificada), si bien se tienen mayores valores productivos, estos no justifican los gastos ya que no se tienen ganancias además de que se tiene una cierta pérdida debido a que no se logra recuperar una parte de los costos de producción. A todo lo mencionado, se concluye que el mejor B/C es de 1.64 el cual se obtiene con el tratamiento 2 que es FVH de cebada de la variedad Criolla producido a los 20 días.

## 6. RECOMENDACIONES

- La certificación de las semillas garantizan la calidad de la semilla en muchos aspectos, como calidad física, fisiológica, varietal y genética, asimismo garantizan mejores productividades del cultivo y otros aspectos más, razón por la cual su costo es elevado. Por lo tanto, de lo mencionado, lo único que se requiere para la producción de FVH es la calidad física de la semilla y que tenga un buen porcentaje de germinación, pues de lo que se trata es producir forraje y no así los granos.
- Para la producción de FVH, se recomienda el uso de semilla no certificada, debido a la eficiencia en costos que representa al obtener 1 kg de este forraje con relación a la obtenida con semilla certificada ya que su alto rendimiento no justifica los costos. Sin embargo también se recomienda que no se debe descuidar la calidad de la semilla.
- En condiciones como las de esta investigación, se recomienda realizar la cosecha de FVH a los 20 días, sin embargo para validar el periodo de cosecha de una manera más exacta, se recomienda realizar el análisis de contenido de nutrientes en diferentes periodos de cosecha en ecosistemas como el altiplano situados en altitudes elevadas.
- Para un mayor rendimiento de FVH se recomienda tomar en cuenta todos los factores que afectan la producción de FVH, pues en esta investigación no se hizo uso de las soluciones nutritivas.
- Se recomienda analizar el impacto que puede causar la implementación de este sistema de producción de FVH en el altiplano frente a los problemas de sequías que han causado pérdidas de ganados camélido y vacuno por falta de alimentación y agua, asimismo validar la aceptación e importancia nutritiva de este forraje en estos animales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Alpizar, L. 2004.** Hidroponía básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. México. Editorial Diana. 153 p.

**Álvarez, F. 2011.** Producción de forraje verde hidropónico: Una alternativa para alimentación de animales en periodos de carencia de pastos. Lima, Perú. 40 p.

**Andrade, A.; Andrade, A. 2003.** Determinación del rendimiento de tres diferentes cereales bajo condiciones de cultivo como forraje verde hidropónico en los altos de Jalisco. Tesis Lic. ing. Agr. México. Universidad Autónoma de Nayarit, Facultad de Agricultura. 67 p.

**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* L.) en la granja experimental ECAA. Tesis Lic. Ing. Agr. Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales "ECAA". 98 p.

**Aquino E. 2010.** Producción, manejo y uso de forraje verde hidropónico para zonas de altura. La Paz, Bolivia. JICA. 55 p.

**Arano, C. 1998.** Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Buenos Aires, Argentina. Editorial Propia. 250 p.

**Arzola, F. 2001.** Selección de semilla para forraje hidropónico (en línea). Consultado 16 Abr. 2012. Disponible en <http://www.forrajeverdehidropónico.htm>

**Boyce, k. et al. 1986.** Seed anatomy, development and composition. Seed production technology (en línea). Consultado 10 de agosto de 2011. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QV8600201>

**Calzada, J. 1970.** Métodos estadísticos para la investigación. 2 ed. Lima, Perú. 164 p.

**Calles, D. 2005.** Evaluación de la producción y calidad del forraje verde hidropónico de cebada con la utilización de diferentes niveles de azufre y su respuesta en Ganado Lechero. Tesis Lic. Ing. Zoo. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 116 p.

**Camacho, M. 1994.** Dormición de semillas. Causas y tratamientos. Distrito federal, México. Editorial Trillas. 125 p.

**Camero, A. 2008.** Informe del proyecto: Evaluación biológica y económica del uso de forraje verde hidropónico (FVH) en la producción de leche. Costa Rica. 66 p.

**Carhuapoma, W.; Curi, G.; Chávez, E.; Contreras, J. 2014.** Revista complutense de ciencias veterinarias; producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) usando efluente de piscigranja de truchas (en línea). Perú. Consultado 15 abr. 2015. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/RCCV/article/viewFile/45795/43021>

**Contreras J.; Tunque M. 2011.** Evaluación del rendimiento de la arveja, cebada y trigo en asociación, en la producción de germinados hidropónicos. Tesis Ing. Zoo. Huancavelica, Perú. Universidad Nacional de Huancavelica.

**Cueva, M. 2010.** Evaluación de rendimiento y precocidad tres tipos de forraje verde hidropónico bajo condiciones del distrito de yanahuanca, Daniel Carrión – Pasco (en línea). Perú. Consultado 15 abr. 2014. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/59833224/Proyecto-Final-de-Forraje-Verde-Hidroponico-UNDAC>

**Dosal, J. 1987.** Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de Avena producido bajo condiciones de hidroponía. Chile. Editorial Universidad de Concepción. 252 p.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001.** Manual técnico forraje verde hidropónico (en línea). Santiago, Chile. Consultado 4 abr. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/3/ah472s.pdf>

**FAO. 1991.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; Guía para la manipulación de semillas forestales (en línea). Consultado 22 de feb. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s00.htm#TOC>

**Ferraz de Toledo, F. 1994.** Processamento e consevacao de sementes de forrageiras. In: Peixoto, A., Moura de J.C., Faria, V. Fundamentos de exploracao racional. Piracicaba. 2 ed. Brasil. 867 p.

**Fuentes, F.; Poblete, C.; Huerta, M.; Palape, I. 2011.** Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. Volumen 29. Chile. 81 p.

**Fundación UNAM (Fundación de la Universidad Nacional Autónoma de México). 2014.** Hidroponía, una sencilla técnica para cultivar (en línea). México. Consultado 11 feb. 2015. Disponible en <http://www.fundacionunam.org.mx/gibex/blog/hidroponia-una-sencilla-tecnica-para-cultivar-plantas/>

**Gallardo, G. 1997.** Producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en ambiente controlado, con tres soluciones nutritivas en dos concentraciones. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 115 p.

**García, G. 2010.** Las ventajas de las semillas certificadas; Revista PANORAMA AgroDec (en línea). Consultado 1 mar. 2014. Disponible en [http://www.semillasoleaginosas.org/impr\\_349.shtml](http://www.semillasoleaginosas.org/impr_349.shtml)

**Gómez, A.; Sosa, R.; Farías, J. 2012.** Evaluación del rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con tres tipos de abonos orgánicos, bokashi, biol y humus líquido en las instalaciones de la U.P.T.P.. República Bolivariana de Venezuela. Universidad Politécnica Territorial de Paria, Departamento de Ciencias Agropecuarias y Agroalimentación. 31 p.

**Gómez, M. 2007.** Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes. Tesis Ing. Zoo. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica. 74 p.

**Gonzáles, A. 2006.** La huerta casera: manual de hidroponía popular. Costa Rica. Editorial de la universidad de San José. 84 p.

**González, C. 2014.** Bases de la Hidroponía (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 22 dic. 2014. Disponible en <http://www.botanica.cnba.uba.ar/Pakete/Dibulgeneral/Hidroponia/BasesdelaHidroponia.htm>

**González, F. 2011.** Producción de forraje verde hidropónico para suplemento de ovinos. Memoria Tec. Sup. en Agrobiotecnología. Gobierno del Estado de Hidalgo, México. Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. 36 p.

**Google Earth. 2014.** imágenes de satélite con visualización múltiple cartográfica (en línea). Consultado 3 mar. 2015. Disponible en <http://www.google.com/earth/>



**Gutiérrez, I. et al. 2000.** Cultivos Hidropónicos. Fascículo 9. Bogotá, Colombia. Editorial Géminis. 46 p.

**Hidalgo, L. 1985.** Producción de forraje en condiciones de hidroponía; evaluaciones preliminares en avena y triticale. Tesis Ing. Agr. Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 68 p.

**Hydro Environment. 2014.** Semillas: tipos, clases y variedades (en línea). Consultado 29 abr. 2015. Disponible en <http://www.Hydroenviron.com>.

**INIAP (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria). 1973.** Más rendimiento con semilla certificada. Quito, Ecuador. Editora. Lic. Martha Grijalva. 6 p.

**Lomelí, H. 2000.** El forraje verde hidropónico: el forraje del futuro (en línea). México. Consultado 22 ene. 2015. Disponible en <http://www.agrored.com.mx/agrocultura/63-forraje.html>

**López, A. 2005.** Pureza física y condición fisiológica de ocho lotes de semillas forrajeras Ministerio de Agricultura y Ganadería, ubicada en la ciudad de San Lorenzo, departamento Central.

**Marulanda, C.; Izquierdo J. 1998.** Manual técnico: la huerta hidropónica popular. 2 ed. Santiago, Chile, FAO. 132 p.

**Marulanda, C.; Izquierdo J. 2003.** Manual Técnico "La Huerta Hidropónica Popular". 3 ed. Santiago, Chile. FAO. 130 p.

**Mendoza, M. 2009.** Producción de cebada (*Hordeum vulgare* L.) bajo sistema hidropónico, en cuatro soluciones nutritivas. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 70 p.

**Meza, J. 1965.** Semillas: Manual para el análisis de su calidad. México. AID. 514 p.

**Morales, A. 1987.** Forraje hidropónico y su utilización en la alimentación de corderos precozmente destetados. Tesis Lic. Ing. Agr. Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Sede Chillán. 64 p.

**Moreno, E. 1984.** Análisis físico y biológico de semillas agrícolas (en línea). Distrito Federal, México. Consultado 16 ene. 2015. Disponible en: <http://books.google.com.bo/books?isbn=9688373044>

**Navarrete, R. 2008.** Estudio de la productividad de dos gramíneas (*Hordeum vulgare* y *triticum aestivum*) y una leguminosa (*vicia sp.*) para forraje verde hidropónico (FVH) con tres cortes sucesivos en la granja ECAA. Tesis Lic. Ing. Agr. Ibarra, Ecuador. Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Ciencias Agrícolas y Forestales (ECAA). 82 p.

**Ñíguez, M. 1988.** Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía: Selección de Especies y Evaluación de Cebada y Trigo. Chile. Universidad de Concepción, Sede Chillán. 76 p.

**Oliver, A. L., R. J. Grant, J.F. Pedersen and J. O. Rear. 2004.** Comparison of brow midrib-6 and-18 forage sorghum with conventional sorghum and com silage in diets of lactating dairy cows. J. Dairy (en línea). Consultado 31 mar. 2015. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1750&context=animalscifacpub>

**Palomino, K. 2008.** Producción de forraje hidropónico. Lima, Perú. Editorial MACRO. 96 p.

**Pérez, J. 1999.** Manual de cultivos hidropónicos”. Bogota-colombia. Editorial

cultural LTDA. p. 45-48.

**Pérez, N. 1987.** Efecto de la sustitución del concentrado por forraje obtenido en condiciones de hidroponía en una crianza artificial de terneros. Tesis Lic. Ing. Agr. Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Sede Chillán. 58 p.

**PROGRAMA NACIONAL DE SEMILLAS (PNS), 2000.** Norma general sobre semillas de especies agrícolas. Bolivia. 20 p.

**Quiñones, E. 2011.** Producción de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.), utilizando microorganismos eficaces en el agua de riego. Tesis Lic. Ing. Zoo. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Facultad de Ingeniería Zootécnica, centro de Investigación Pecuaria. 74 p.

**Quispe, A. 2013.** Rendimiento de cebada y avena como forraje verde hidropónico en relación a la densidad de siembra en carpa solar. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 69 p.

**Ramos, C. 1999.** El Uso de Aguas Residuales en Riegos Localizados y en Cultivos Hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.

**Rodríguez, A. 2003.** Forraje verde hidropónico. México. Editorial Diana, 113 p.

**Rodríguez, A.; Chang M.; Hoyos, M. 2000.** Manual práctico de hidroponía, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Boletín Informativo Numero 8. (en línea). Lima, Perú. Consultado 31 mar. 2015. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin8/boletin8.htm>

**Rodríguez, D. 1999.** Manual práctico de hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Consultado 20 Dic. 2013. Disponible en [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=125%C3%91%C3%ADguez](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=125%C3%91%C3%ADguez)

**Rodríguez, F. 1982.** Fertilizantes y nutrición vegetal. México. A.G.T. 154 p.

**Román, A. 2005.** Calidad física de diferentes variedades de cebada cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala (en línea). Estado de Hidalgo, México. Consultado 28 dic. 2014. Disponible en <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/ee-13-2005/.../CNA02.pdf>

**Samperio, G. 1997.** Hidroponía básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. México. Editorial Diana.

**Sánchez, A. 1996 – 1997.** Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE –Ministerio de Trabajo y Seguridad Social) Montevideo, Uruguay.

**Santander, F. 2006.** Forraje verde hidropónico (en línea). Consultado 28 abr. 2014. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/7762561/Www-elmejorguia-com-Hidroponia#scribd>

**Stevenson, B. 1989.** Anatomía vegetal. Noruega. Editorial Limusa. 215 p.

**Tarrillo, H. 2005.** Forraje verde hidropónico para la alimentación animal (en línea). Arequipa, Perú. Consultado 15 ago. 2014. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/252446677/Exposicion-Curso-FVH-25-Noviembre-2005#scribd>

**U.T.M. 2012.** “Dureza del agua” Artículo realizado por la Universidad Técnica de Machala (en línea). Consultado 26 abr. 2015, Disponible en

<http://quimicaparaingenieria.blogspot.com/>

**Valdivia, E. 1997.** Producción de forraje verde hidropónico (FVH). Conferencia Internacional de Hidroponía Comercial (en línea). Lima, Perú. Consultado 25 mar. 2014. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INPERUPE.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=006190>

**Vargas, A. 2008.** Evaluación productivo-ambiental de dos genotipos de maíz (*zea mays* L.) en forraje verde hidropónico bajo invernadero. Tesis M. Sc. Ciencias en Gestión Ambiental. México. Instituto Politécnico Nacional Durango, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. 60 p.

**Villar, J. 1999.** Producción de F.V.H.: curso taller internacional de hidroponía. Lima Perú.

**Villee, C. 1994.** Biología, 4 ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial Universitaria. 728 p.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1: GERMINACIÓN DE LA CEBADA DE LA VARIEDAD IBTA-80.**



**ANEXO 2: GERMINACIÓN DE LA CEBADA DE LA VARIEDAD CRIOLLA.**

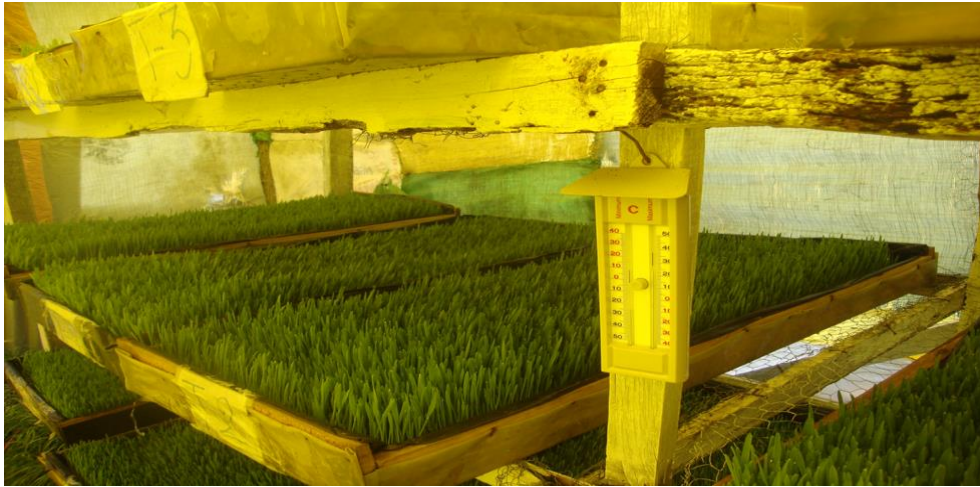


**ANEXO 3: BROTACIÓN DEL COLEOPTILO DE LA CEBADA PARA FVH**

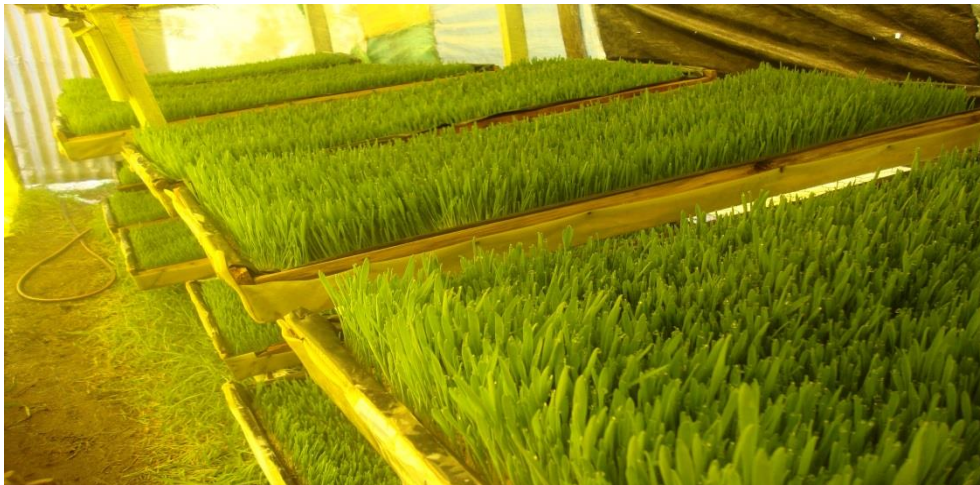




**ANEXO 4: REGISTRO DE TEMPERATURAS EN EL AMBIENTE.**



**ANEXO 5: SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.**



**ANEXO 6: FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA A LOS 15 DÍAS.**





**ANEXO 7: COSECHA DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO A LOS 15 DÍAS.**



**ANEXO 8: FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD CRIOLLA A LOS 15 DÍAS.**



**ANEXO 9: FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD IBTA-80 A LOS 15 DÍAS.**



**ANEXO 10:FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD CRIOLLA A LOS 20 DÍAS.**



**ANEXO 11:FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD IBTA-80 A LOS 20 DÍAS.**



**ANEXO 12:FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD CRIOLLA A LOS 25 DÍAS.**





**ANEXO 13: FVH DE CEBADA DE LA VARIEDAD IBTA-80 A LOS 25 DÍAS.**



**ANEXO 14: ALIMENTACIÓN DE OVINOS CON FVH.**



**ANEXO 15: ACEPTACIÓN DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO EN OVINOS.**



**ANEXO 16: REGISTRO DE TEMPERATURAS DENTRO DEL AMBIENTE.**

# Día	Fecha	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Temperatura promedio °C
1	01/11/2014	30	4	17
2	02/11/2014	29	5	17
3	03/11/2014	30	4	17
4	04/11/2014	31	6	18,5
5	05/11/2014	30	5	17,5
6	06/11/2014	28	5	16,5
7	07/11/2014	30	6	18
8	08/11/2014	32	5	18,5
9	09/11/2014	29	4	16,5
10	10/11/2014	30	3	16,5
11	11/11/2014	30	5	17,5
12	12/11/2014	28	4	16
13	13/11/2014	31	5	18
14	14/11/2014	30	6	18
15	15/11/2014	29	5	17
16	16/11/2014	30	3	16,5
17	17/11/2014	31	6	18,5
18	18/11/2014	30	6	18
19	19/11/2014	28	5	16,5
20	20/11/2014	30	4	17
21	21/11/2014	30	6	18
22	22/11/2014	29	5	17
23	23/11/2014	30	6	18
24	24/11/2014	31	4	17,5
25	25/11/2014	30	5	17,5
<b>Promedio</b>		29,84	4,88	17,36
<b>Temperatura mínima extrema</b>		3		
<b>Temperatura máxima extrema</b>		32		

**ANEXO 17: PORCENTAJE DE GERMINACIÓN.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	73	80	72	225	75
Variedad IBTA-80	82	86	85	253	84,3

**ANEXO 18: PESO DE 1000 GRANOS.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	42,5	40,5	42,5	125,5	41,8
Variedad IBTA-80	39	38,5	38,5	116	38,7

**ANEXO 19: PORCENTAJE DE PUREZA.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	97	98	96	291	97,0
Variedad IBTA-80	99	99	99	297	99,0

**ANEXO 20: VALOR CULTURAL.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	70,8	78,4	69,1	218,33	72,8
Variedad IBTA-80	79,2	85,1	84,2	248,49	82,8

**ANEXO 21: NÚMERO DE DÍAS A LA GERMINACIÓN.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	4	4	5	13	4,3
Variedad IBTA-80	3	3	3	9	3,0

**ANEXO 22: NÚMERO DE DÍAS A LA BROTAÇÃO DE LAS HOJAS.**

TRATAMIENTO	REPETICIONES			TOTAL	MEDIA
	I	II	III		
Variedad Criolla	6	6	7	19	6,3
Variedad IBTA-80	5	5	5	15	5,0

**ANEXO 23: ALTURA DE LA PLANTA (cm).**

Variedades	Periodos de cosecha	Tratamientos	I	II	III	ΣTrat	MEDIA
Criolla	15 días	T1	10,6	9,7	9	29,3	9,8
	20 días	T2	15	16,7	12,3	44	14,7
	25 días	T3	15,1	17,5	14,4	47	15,7
IBTA-80	15 días	T4	9,8	8,8	7,7	26,3	8,8
	20 días	T5	11,5	12,2	11,6	35,35	11,8
	25 días	T6	12,4	15,8	12,6	40,8	13,6
ΣBloques			74,4	80,7	67,6	222,7	

**ANEXO 24: RENDIMIENTO DE FVH (kg/m<sup>2</sup>).**

Variedades de cebada	Periodos de cosecha	Tratamientos	I	II	III	ΣTrat	MEDIA
Criolla	15 días	T1	10,4	11,6	9,6	31,6	10,5
	20 días	T2	14	14,6	13,4	42	14,0
	25 días	T3	14,4	15	13,6	43	14,3
IBTA-80	15 días	T4	14,4	15	13,6	43	14,3
	20 días	T5	17,6	18	17	52,6	17,5
	25 días	T6	18,1	19	17,6	54,7	18,2
ΣBloques			88,9	93,2	84,8	266,9	

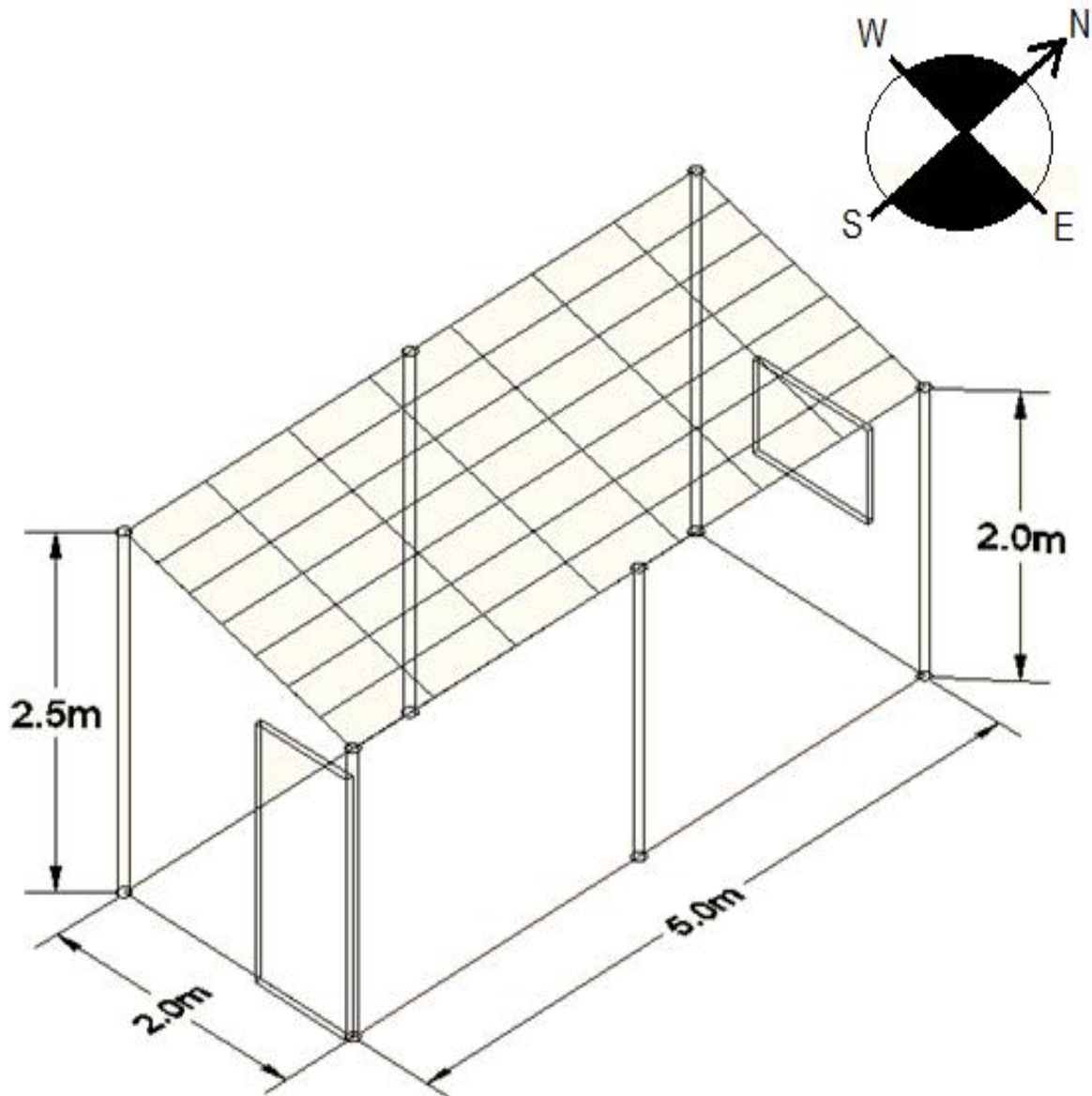
**ANEXO 25: RELACIÓN DE CONVERSIÓN DE SEMILLA A FORRAJE “RCS”.  
(Kg/kg de semilla)**

Variedades de cebada	Periodos de cosecha	Tratamientos	I	II	III	ΣTrat	MEDIA
Criolla	15 días	T1	3,47	3,9	3,2	10,57	3,5
	20 días	T2	4,67	4,9	4,5	14,07	4,7
	25 días	T3	4,8	5	4,5	14,3	4,8
IBTA-80	15 días	T4	4,8	5	4,5	14,3	4,8
	20 días	T5	5,87	6	5,7	17,57	5,9
	25 días	T6	6,03	6,3	5,9	18,23	6,1
ΣBloques			29,64	31,1	28,3	89,04	

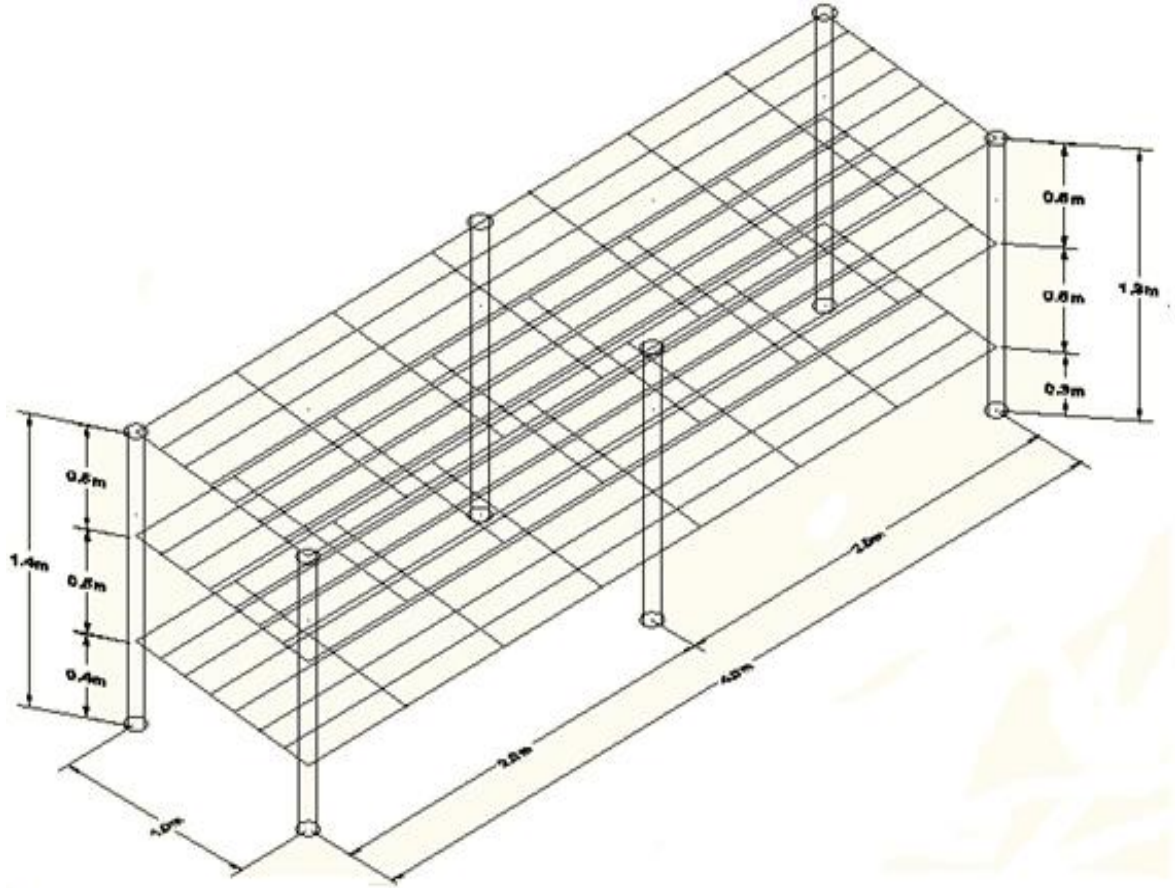
### ANEXO 26: PORCENTAJE DE MATERIA SECA.

Variedades de cebada	Periodos de cosecha	Tratamientos	I	II	III	MEDIA
Criolla	15 días	T1	23,5	23,0	24,0	23,5
	20 días	T2	19,5	19,0	20,0	19,5
	25 días	T3	17,2	17,0	17,8	17,3
IBTA-80	15 días	T4	20,0	20,0	20,5	20,2
	20 días	T5	15,0	15,0	16,0	15,3
	25 días	T6	11,5	11,7	12,0	11,7

### ANEXO 27: CROQUIS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO.



**ANEXO 29: CROQUIS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ESTANTE PARA FVH.**



**ANEXO 30: CROQUIS DE LA BANDEJA PARA PRODUCCIÓN DE FVH.**

