



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: **SOTELO TOLEDO JOSE MIGUEL**

Código de alumno: **071.0201.061**

Teléfono: **971 588 589**

Correo electrónico: jose.mst.24@gmail.com

DNI o Extranjería: **45620292**

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

**"RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*)
CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO, APLICANDO TRES VOLÚMENES DE RIEGO POR
MICROASPERSIÓN, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ, AÑO 2019"**

5. Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AGRÍCOLA

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: **Ing.M.Sc. COTOS VERA JAVIER ALBERTO** Teléfono: **949 731 884**

Correo electrónico: ja.cove@hotmail.com

DNI o Extranjería: **31612286**

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 45620292

FECHA:

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA
(*Hordeum vulgare L.*) CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO,
APLICANDO TRES VOLÚMENES DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN,
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ, AÑO 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

Bach. SOTELO TOLEDO, JOSE MIGUEL

ASESOR:

Ing. M.Sc. COTOS VERA, JAVIER ALBERTO

HUARAZ – PERÚ – 2019



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la ingeniería Agrícola **JOSE MIGUEL SOTELO TOLEDO**, denominado: "**RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO, APLICANDO TRES VOLÚMENES DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ, AÑO 2019**". Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

..... **APROBADA**

CON EL CALIFICATIVO (*)

..... **DIECISEIS (16)**

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRICOLA** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 12 de noviembre del 2019

Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA
PRESIDENTE

Dr. LUIS ALBERTO ORBEGOSO
NAVARRO
SECRETARIO

Ing. Mag. TITO MONER TINOCO
MEYHUAY
VOCAL

Ing. M.Sc. JAVIER ALBERTO
COTOS VERA
PATROCINADOR


(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19 – 20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17 – 18)**, **APROBADO (14 -16)**, **DESAPROBADO (00 – 13)**.



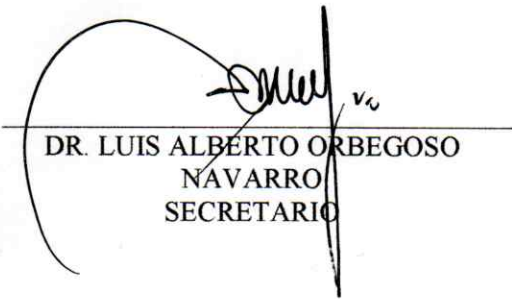
ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada: **"RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO, APLICANDO TRES VOLÚMENES DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ, AÑO 2019"**. presentada por la Bachiller en Ciencias de la ingeniería Agrícola **JOSÉ MIGUEL SOTELO TOLEDO** y sustentada el día 12 de noviembre del 2019, por Resolución Decanatural N°445-2019-UNASAM-FCA/D, la declaramos CONFORME.


Huaraz, 12 de noviembre del 2019




DR. TEOFANES MEJÍA ANAYA
PRESIDENTE



DR. LUIS ALBERTO ORBEGOSO
NAVARRO
SECRETARIO



ING. MAG. TITO MONER TINOCO
MEYHUAY
VOCAL



ING. M.SC. JAVIER ALBERTO
COTOS VERA
PATROCINADOR

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y fortaleza.

A mi padre: Miguel Sotelo

A mi madre: Paulina Toledo.

Por su amor, orientación y apoyo incondicional.

A mis hermanos: Carlos y Vanessa

A mis Tíos y primos cercanos

Por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme dar este paso tan importante en mi vida para mi formación como profesional en ingeniería Agrícola.

Durante el desarrollo de esta investigación he contado con la colaboración y ayuda de diferente familiares, profesionales y amigos, a los que en esta oportunidad quiero expresar mi gratitud y admiración por su apoyo incondicional para culminar la presente investigación.

A todos mis seres amados, a aquellos que, con su apoyo incondicional, lograron apoyarme para poder llegar a estas instancias de mis estudios, quienes con sus palabras de aliento no me han dejado de caer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla mis ideales.

A mi patrocinador Ing.M.Sc. Javier A. Cotos Vera, por haberme dado la oportunidad de realizar esta tesis bajo su dirección, a mis jurados Dr. Teofanes Mejía Anaya, Dr. Luis A. Orbegoso Navarro y Mag. Tito M. Tinoco Meyhuay, por sus valiosos aportes, sugerencias y correcciones realizadas en el texto.

A mis amigos Yhamilet Medina y Wilmer Montoya, quienes me apoyaron y orientaron en este camino para lograr la Tesis.

A la UNASAM mi alma mater, que me dio todo y abrió sus puertas para adentrarme al sendero del conocimiento. A la gloriosa Facultad de Ciencias Agrarias y Escuela de Ingeniería Agrícola y a cada docente que formaron parte de mi educación profesional.

LISTA DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACION.....	ii
ACTA DE CONFORMIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE CONTENIDOS	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv

INDICE GENERAL

I. CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
II. CAPÍTULO II	
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales	4
2.2. Marco Teórico.....	4
2.2.1. Invernaderos	4
2.2.2. Hidroponía	5
2.2.3. Cebada.....	5
2.2.4. Forraje verde hidropónico	6
2.2.5. Ventajas del forraje verde hidropónico	7
2.2.6. Desventajas del forraje verde hidropónico	8
2.2.7. Componentes en la producción de forraje verde hidropónico	8
2.2.8. Requerimientos en la producción del forraje verde hidropónico	11
2.2.9. Proceso de producción.....	15
2.2.10. Riego en la producción de forraje verde hidropónico	16
2.2.11. Riego con solución nutritiva	17
2.2.12. Gasto de agua en la producción del FVH	18
2.2.13. Frecuencia de aplicación de riego en la producción del FVH	19
2.2.14. Formas de riego	20
2.2.15. Sistemas de riego	21
2.2.16. Coeficiente de uniformidad de riego.....	22
2.2.17. Riego por aspersion.....	23
2.2.18. Riego por microaspersión	23

2.2.19.	Características hidráulicas de los micro aspersores	24
2.2.20.	Automatización de sistemas de riego	25
2.2.21.	Rendimiento en la producción del FVH	25
2.2.22.	Materia seca	26
2.3.	Prueba de rango múltiple de Duncan	26
2.4.	Definición de términos	27
2.5.	Justificación e Importancia del proyecto	28
2.5.1.	Justificación	28
2.5.2.	Importancia	28
2.6.	Hipótesis	29
2.7.	Identificación y operacionalización de variables	29
III.	CAPITULO III	
	MATERIALES Y METODOS.....	30
3.1.	Área Experimental.....	30
3.1.1.	Ubicación Política	30
3.1.2.	Ubicación Geográfica.....	30
3.1.3.	Características Climáticas dentro del invernadero	30
3.1.4.	Características del agua de riego.....	32
3.2.	Materiales y Equipos	33
3.2.1.	Material Experimental.....	33
3.2.2.	Materiales de invernadero	33
3.2.3.	Insumos	34
3.2.4.	Equipos.....	34
3.3.	Metodología	35
3.3.1.	Tipo de estudio.....	35
3.3.2.	Universo y población	35
3.3.3.	Unidad de análisis y muestra	35
3.4.	Diseño de la investigación.....	35

3.4.1.	Diseño experimental.....	35
3.4.2.	Análisis estadístico.....	36
3.4.3.	Tratamientos	36
3.4.4.	Descripción del área experimental	37
3.5.	Proceso de campo.....	38
3.5.1.	Instalación del sistema de riego por microaspersión para el proyecto	38
3.5.2.	Manejo del forraje verde hidropónico	39
3.5.3.	Determinación del coeficiente de uniformidad	40
3.5.4.	Cálculo de los volúmenes de agua para el riego	41
3.5.5.	Riego con solución nutritiva	44
3.5.6.	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	45
3.5.7.	Parámetros evaluados	45
IV.	CAPITULOIV	
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1.	Resultados.....	47
4.1.1.	Volúmenes de agua	47
4.1.2.	Altura de la planta (Forraje)	48
4.1.3.	Rendimiento a la cosecha	50
4.1.4.	Rendimiento tal como ofrecido (TCO).....	51
4.1.5.	Índice de conversión biomasa TCO/semilla	52
4.1.6.	Contenido de materia seca	53
4.2.	Discusión	54
V.	CAPITULO V	
	CONCLUSIONES	57
VI.	CAPITULO VI	
	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFIA.....	59
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo para producir Forraje Verde Hidropónico (Garduño, 2011).	7
Figura 2. Invernadero para producir Forraje Verde Hidropónico (Invernaderos & Source).	9
Figura 3. Estantería para producir Forraje Verde Hidropónico (Acrobat 2019).	9
Figura 4. Bandejas para producir Forraje Verde Hidropónico. (Maruplast, 2019)	10
Figura 5. Sistema para producir Forraje Verde Hidropónico. (Rodríguez 2003).....	11
Figura 6. Sistema de riego para producir Forraje Verde Hidropónico. (Jacome & Armando 2019).....	16
Figura 7. Grafico de Temperatura y Humedad Relativa	32
Figura 8. Comportamiento fenologico de la Cebada cultivar centenario (Romero J, 2016)	33
Figura 9. Diseño del area experimental	37
Figura 10. Unidad experimental	38
Figura 11. Cronograma de la programación de riegos.....	42
Figura 12: Gráfico de la conductividad electrica, pH y la temperatura del agua de riego.	44
Figura 13. Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta a los 5, 10 y 15 días después de la siembra.	49
Figura 14. Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) entre volúmenes de riego y bloques para el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada a la cosecha.	51
Figura 15: Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) entre volúmenes de riego y bloques para el rendimiento del forraje tal como ofrecido.	52
Figura 16: Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) de volúmenes de riego y bloques para índice de conversión biomasa TCO/semilla.	53
Figura 17: Medias para el contenido de materia seca del forraje hidropónico.....	54
Figura 18: Consumo de agua por kilogramo de biomasa TCO y Materia seca según tratamientos.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Solución Nutritiva “A” y “B”. (FAO, 1997)	18
Tabla 2. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo (Garduño 2011)	19
Tabla 3. Eficiencia de Aplicación. (Carrazón 2007; citado en Alania 2013)	22
Tabla 4. Valores de Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC).....	22
Tabla 5. Variables en estudio (Elaboración propia)	29
Tabla 6. Registro de lo Temperatura y Humedad Relativa- Invernadero-Huaraz	31
Tabla 7. Características del agua de Riego	32
Tabla 8. Análisis de varianza generalizado para un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 03 tratamientos y 03 Bloques	36
Tabla 9. Programación N°1 de riegos.....	42
Tabla 10. Programación N°2 de riegos.....	43
Tabla 11: Registro de conductividad eléctrica y el pH, del agua de riego con solución nutritiva.	44
Tabla 12. Consumo de agua de riego durante los primeros 7 días y para los 8 últimos días	47
Tabla 13. Gasto de agua (Litros) durante los 15 días según tratamiento.....	47
Tabla 14. Análisis de varianza para altura de la planta a los 5, 10 y 15 días después de la siembra del forraje verde hidropónico de cebada.	48
Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento de forraje verde hidropónico a la cosecha.	50
Tabla 16. Análisis de varianza para el rendimiento del forraje tal como ofrecido (Kg/m ²)......	51
Tabla 17: Análisis de varianza para el índice de conversión biomasa TCO/Semilla	52
Tabla 18. Análisis de varianza para el contenido de materia seca (%).	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la Densidad de siembra en las bandejas	63
Anexo 2. Determinación del Coeficiente de uniformidad	64
Anexo 3. Análisis del agua de riego.....	65
Anexo 4. Interpretación de calidad de agua de riego	66
Anexo 5. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soil Salinity, Laboratory). Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973)	67
Anexo 6. Catalogo del Microaspersor.....	68
Anexo 7. Consumo de agua durante todo el proceso de producción del FVH.....	70
Anexo 8. Distribucion normal de Fisher, para $\alpha=0.05$	71
Anexo 9. Datos de la altura de la planta (cm).....	72
Anexo 10. Cuadro ANVA de la altura del Forraje a los 5, 10 y 15 días	73
Anexo 11. Cuadro DUNCAN de la altura del Forraje a los 5, 10 y 15 días	73
Anexo 12. Rendimiento a la cosecha	74
Anexo 13. Rendimiento TCO	75
Anexo 14. Cuadro ANVA para los Rendimientos a la cosecha, TCO e índice de conversión	75
Anexo 15. Cuadro DUNCAN de los tratamientos (Rendimientos)	76
Anexo 16. Cuadro de DUNCAN de los bloques (Rendimientos)	77
Anexo 17. Cuadro de datos de Materia Seca.....	78
Anexo 18. Cuadro ANVA para Materia Seca	78
Anexo 19. Cuadro DUNCAN para Materia Seca	78
Anexo 20. Panel fotográfico del proceso de ejecución.	79
Anexo 21. Plano de ubicación	87
Anexo 22. Plano del Sistema de microriego para la producción del FVH.....	87

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) cultivar centenario, aplicando tres volúmenes de riego por micro aspersión. El ensayo se realizó desde el día 17 de Julio al 31 de Julio del 2019 en el Distrito y Provincia de Huaraz, a 3067 m.s.n.m., bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Como tratamiento se tuvo, tres volúmenes de riego V1 (1.1 litros/m²/día), V2 (2.2 litros/m²/día) y V3 (3.3 litros/m²/día), que fueron aplicados durante 15 días en cada unidad experimental, que fue 12 bandejas forrajeras de 55 cm x 28 cm, sembradas cada uno con 500 g de cebada cultivar centenario. Los riegos fueron aplicados con micro aspersores modelo Mondragón, con ángulo de riego de 360°. Los resultados para la altura de planta, indican que volumen (V1), a los 15 días llegó 14.03 cm, con el volumen (V2) la altura final fue de 14.40 cm y con el volumen (V3) la altura final fue de 16.63 cm. Para el rendimiento a la cosecha, el volumen (V3), obtuvo un mayor rendimiento con 16.92 Kg/ m², mientras que con el volumen (V2) se obtuvo 15.09 Kg/m² y con el volumen (V3) se logró 10.70 Kg/m². También, en el rendimiento tal como ofrecido del forraje (TCO), que es el forraje cosechado y oreado por 24 horas, la mayor producción se logró con el volumen (V3) siendo este de 15.16 Kg/m², mientras que con el volumen (V2) se obtuvo 13.73 Kg/m² y finalmente con el volumen (V1) el rendimiento fue de 9.77Kg/m². Para el contenido materia seca se puede observar que el volumen de riego V1, genero mayor contenido de materia seca con 18.8%, seguido del volumen de riego V2 y V3 con 15% y 11.9%, respectivamente.

Palabras clave: volumen, riego, forraje, hidropónico, cebada

ABSTRACT

The study aimed to determine the yield of hydroponic green barley fodder (*Hordeum vulgare* L.) to cultivate centenary, applying three volumes of micro sprinkler irrigation. The test was conducted from July 17 to July 31, 2019 in the District and Province of Huaraz, at 3067 m.a.s.l., under greenhouse conditions. A Randomized Complete Block Design with three treatments and three repetitions was used. As treatment, three irrigation volumes were V1 (1.1 liters / m² / day), V2 (2.2 liters / m² / day) and V3 (3.3 liters / m² / day), which were applied for 15 days in each experimental unit, It was 12 forage trays of 55 cm x 28 cm, each planted with 500 g of barley growing centenary. The irrigation was applied with Mondragón model micro sprinklers, with 360 ° irrigation angle. The results for the plant height indicate that volume (V1), after 15 days it reached 14.03 cm, with volume (V2) the final height was 14.40 cm and with volume (V3) the final height was 16.63 cm . For the harvest yield, the volume (V3), obtained a higher yield with 16.92 Kg / m², while with the volume (V2) 15.09 Kg / m² was obtained and with the volume (V3) 10.70 Kg / m² was achieved. Also, in the yield as offered of the forage (TCO), which is the forage harvested and milled for 24 hours, the greatest production was achieved with the volume (V3) being this of 15.16 Kg / m², while with the volume (V2) 13.73 kg / m² was obtained and finally with volume (V1) the yield was 9.77 kg / m². For the dry matter content it can be observed that the volume of irrigation V1, generated a greater content of dry matter with 18.8%, followed by the volume of irrigation V2 and V3 with 15% and 11.9%, respectively.

Keywords: volume, irrigation, fodder, hydroponic, barley.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En un criadero urbano y/o rural o en una zona con poca agua uno de los problemas es tener que comprar pasto caro y no siempre de tan buena calidad. Hoy en día existe una solución a esos problemas llamado forraje verde hidropónico. La hidroponía está en continuo desarrollo en el Perú donde ya se producen entre otros lechuga, fresas, rabanito, espinaca hidropónicas. El término hidroponía está inclinado a un cultivo en agua.

Existen familias que se dedican a la crianza de animales menores y/o mayores en las zonas urbanas y rurales, una de las alternativas de producir forraje verde en espacio reducido es el forraje verde hidropónico con riego tecnificado y además por la escasez de agua en épocas de verano, ya que con este sistema se raciona el uso del agua. (Herrera & Nuñez, 2007)

El forraje verde hidropónico, es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenido a partir del crecimiento inicial de las plantas, en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de granos viables (Delgado, 2016).

El proceso se realiza en recipientes planos y por un lapso de tiempo no mayor a los 15 días, realizándose riegos con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 15 centímetros. A partir del quinto día los riegos son con una solución nutritiva la cual tiene por finalidad aportar los elementos químicos, especialmente el nitrógeno, necesarios para el óptimo crecimiento del forraje, así como también otorgarle, entre otras características, su alta palatabilidad, buena digestibilidad y lograr ser un excelente sustituto del alimento concentrado (Morales, 1987 citado en Garduño, 2011).

Las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos. (FAO, 2002)

Para que se pueda dar todo este proceso y lograr estos beneficios es necesario abastecer al cultivo de agua de manera necesaria, sin limitaciones y excesos. En la práctica, a nivel local se desconoce el volumen adecuado para este proceso. Entonces, es necesario determinar los volúmenes de agua para el rendimiento del forraje en función a los al área del cultivo.

Entre los beneficios de este sistema es que no se requiere de amplios terrenos de cultivos; puesto que se puede realizar en cualquier lugar en zonas rurales y urbanas, en casas unifamiliares con pequeños espacios no necesariamente de cultivos donde se pueda instalar un invernadero. Como se denota es de importancia realizar este trabajo de tesis por que se persigue darle un valor óptimo al uso del agua para ser utilizado en este tipo de sistema.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) cultivar centenario bajo invernadero, aplicando tres volúmenes de riego por micro aspersión.

1.1.2. Objetivos Específicos

- 1) Evaluar el tamaño de la planta alcanzado por cada volumen de riego en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) cultivar centenario bajo invernadero en Huaraz.
- 2) Determinar el rendimiento de biomasa forrajera de cebada (*Hordeum vulgare L.*) cultivar centenario, para cada volumen de riego en estudio.
- 3) Determinar el contenido de materia seca del forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) cultivar centenario, para cada volumen de riego en estudio.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Zangal, et al., (2016), en forraje verde hidropónico, experimento con el riego cada 24 horas y con un volumen de 1 litro de agua por kg de maíz. Se cosechó los días 13, 14 y 15. Se midieron la altura de la planta, rendimiento total, % de germinación, peso de raíz, peso de tallo y hojas y peso de grano no germinado. Concluye que; es factible la producción de FVH de maíz en charolas de cartón con riego cada 24 horas.

Romero, Córdova, & Hernández (2009), estudiaron la técnica de producción de forraje verde hidropónico (FVH) y su aceptación en ganado lechero. La producción se realizó en un invernadero con capacidad para 1 440 charolas de 40 x 60 cm. La semilla de cebada y las charolas se desinfectaron, luego se mezcló paja de trigo con el grano de cebada, esa mezcla se ubicó en charolas que se colocaron inclinadas en estantes verticales. Las charolas se regaron por goteo, dos minutos cada dos horas. La producción obtenida a los ocho días fue de 3,8 kg de FVH por charola y el costo del kg de FVH fue de \$ 1,09.

Castro (2012) dice que, en países como Costa Rica, especialmente en la Meseta Central donde el precio de la tierra está alcanzando niveles muy altos la idea de una “Fabrica de pastos” con uso de hidroponía, es una genialidad para pequeños y medianos productores pecuarios, ya que con un pequeño invernadero donde se ponen a germinar y crecer en bandejas, cientos de semillas de maíz, avena, cebada, trigo o alfalfa obtendremos en un tiempo record de 12 a 15 días todo el forraje verde que se necesita para alimentar el ganado caprino, bovino, ovino o los porcinos.

Vaca (2016), informa que la posibilidad de contar con “pasto siempre”, se logra a través de viveros que funcionan con sistema hidropónico. Una instalación de 248 m², requiere 6.000 litros de agua diarios, produce 3.000 kilos de forraje fresco por jornada, volumen que alcanza para alimentar a 650 novillos, en combinación con otros componentes dietarios, aseguran los promotores de la iniciativa.

2.1.2. Nacionales

Rosario (2018); menciona que la mejor densidad para el cultivo de forraje hidropónico de cebada es de 17.86 Ton/Ha asociada con arveja, puesto que presenta una mayor rentabilidad económica con 48%, además de presentar un menor costo de producción, costo por Kg de materia seca y proteína bruta.

Romero (2016); resume que para condiciones locales la cebada centenaria es la especie que mayor rendimiento de forraje fresco presenta, seguido del trigo alianza. El trigo Alianza es la especie que presenta un menor periodo productivo, seguido de la cebada Centenario. Además, la cebada centenaria presenta una aceptación del forraje en cuyes de 97.63 %, seguido del trigo alianza con 96.5%. El maíz amarillo duro es la especie que mayor digestibilidad proteica tiene con un 94.04%, seguido del maíz opaco Huascarán con 90.41%.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Invernaderos

Marin (2013); sustenta que los invernaderos no son más que estructuras cerradas, con mayor o menor grado de tecnificación según las necesidades, orientados a obtener la mayor productividad de cultivos hortícolas, semilleros y planta joven, planta ornamental, flor y verde de corte.

En la actualidad el uso de esta tecnología está disponible para la mayor parte de los esquemas productivos y de los productores en general del resto del mundo (Sinaloa, 2006).

2.2.2. Hidroponía

El término "hidropónico" deriva de dos palabras griegas. *Hydro* = agua y *Ponos* = trabajo o cultivo, que a las conjunciones significan trabajo en agua (Douglas, 1987 e Izquierdo, 2000; citados Delgado, 2016).

Además, (Howard 1987, citado en Delgado, 2016); define a la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo.

Beltrano & Gimenez (2015); dicen que la hidroponía se puede implementar en estructuras simples o complejas, para producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes.

2.2.3. Cebada

Cajamarca & Montenegro (2015), mencionan a Rimache, (2008) & Santoyo et al, (2004), e indican que la cebada (*Hordeum vulgare* L), fue una de las primeras especies en ser cultivadas por el ser humano en el inicio de la agricultura. Indican también que este proceso se dio en dos centros de origen situados en el Sudeste de Asia y África septentrional.

Herrera & Nuñez (2007), mencionan y comentan que, "la cebada de secano se cultiva normalmente en aquellas tierras que, por ser más ligeras y con menor poder retentivo del agua."

Morfología taxonomía

Cajamarca & Montenegro (2015), mencionan a Mateo (2005) e indican que la cebada pertenece a subfamilia de Polideae, dentro de la familia Poaceae e incluyen plantas cultivadas y espontáneas. Todos los tipos cultivados se agrupan en una sola especie polimorfa *Hordeum Vulgare*.

Asi mismo Cajamarca & Montenegro (2015), mencionan a Perez (2010) y clasifican a la cebada en lo siguiente:

- Reino: Plantae
- Division: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Genero: Hordeum
- Especie: Vulgare L.

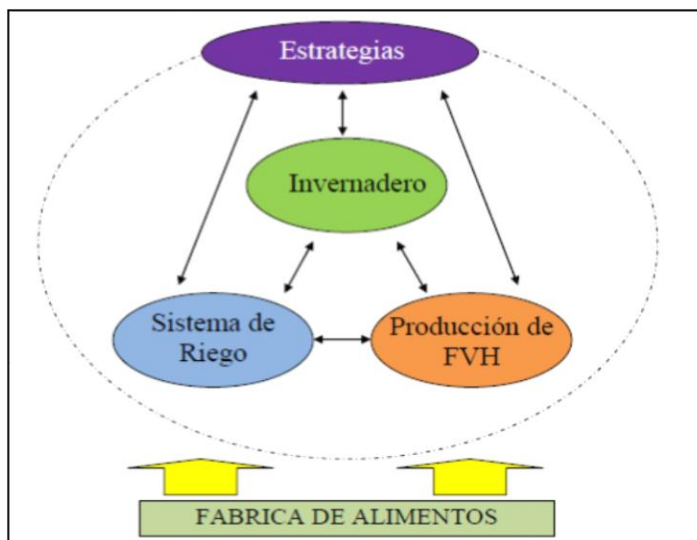
2.2.4. Forraje verde hidropónico

Delgado (2016), cita a la FAO (2001); y dicen que el FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, es producido en pocos días entre 9 a 15 en cualquier época del año y en cualquier lugar, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello.

Juárez, et al., (2013); dicen que el FVH es de alta digestibilidad, calidad nutricional y es apto para la alimentación animal. El FVH se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad). Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo.

Romero (2011), hace mencion a la FAO (2001); y afirman que el FVH es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables, el producto final es un forraje de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación de diversos tipos de ganado y animales domesticados.

Figura 1. Modelo para producir Forraje Verde Hidropónico (Garduño, 2011).



Garduño (2011); menciona que en la práctica el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo.

2.2.5. Ventajas del forraje verde hidropónico

La FAO (2002), identifica las siguientes ventajas:

Ahorro de agua: en el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18%. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

Eficiencia en el uso del espacio: el sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil

Eficiencia en el tiempo de producción: la producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de

los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH

Calidad del forraje para los animales: el FVH es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales. En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.300 kcal/kg) que el FVH (3.200 kcal/kg) (Pérez, 1987). Sin embargo, los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables.

Inocuidad: el FVH producido de acuerdo a las indicaciones, 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. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción.

2.2.6. Desventajas del forraje verde hidropónico

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, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO₂. Innumerables de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema (FAO, 2002).

Orellana (2015); afirma que una desventaja a considerar es el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado que, utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logra excelentes resultados.

2.2.7. Componentes en la producción de forraje verde hidropónico

Invernadero

Gutierrez (2002), citado en Gomez (2007); nos dicen que el invernadero deberá construirse de acuerdo con la cantidad de forraje que se quiera producir diariamente, dejando

un margen de seguridad. Se sabe que 4 m² son suficientes para producir 15 kg por día de forraje

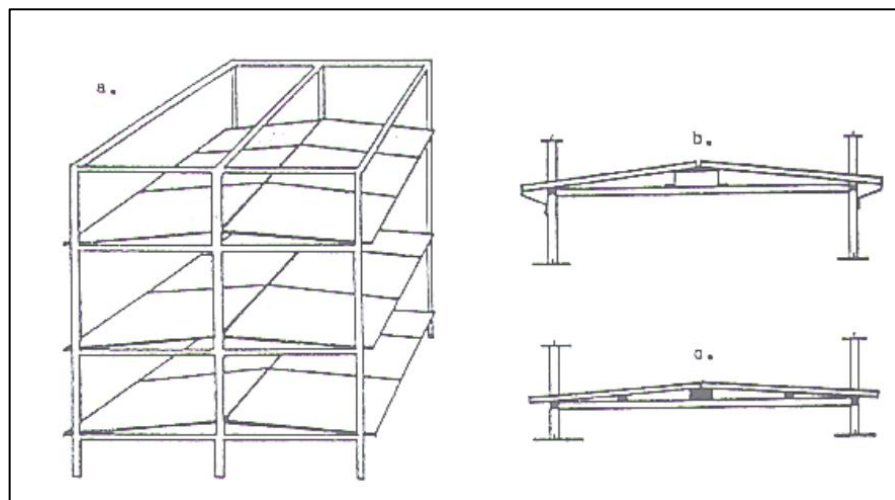
Figura 2. Invernadero para producir Forraje Verde Hidropónico (Invernaderos & Source).



Estanterías

Comprende toda la estantería para soportar las bandejas en que se va a cultivar el forraje y puede ser de madera, metal, PVC. Su altura debe ser tal que ofrezca comodidad en las diferentes labores del cultivo. Cada módulo tendrá pendientes longitudinales y transversales para permitir el drenaje de la solución nutritiva en todos los sentidos (Gutierrez, 2002; citado en Gomez, 2007).

Figura 3. Estantería para producir Forraje Verde Hidropónico (Acrobat 2019).



Bandejas

Manifiesta que son los recipientes que se usan para colocar la semilla para el desarrollo del cultivo, puede ser de diferentes materiales, como asbesto-cemento, lámina galvanizada, fibra de vidrio, material plástico o formaletas de madera cubiertas de polietileno. Sus medidas varían de 40 a 60 cm. de ancho y 80 a 120 cm de largo, profundidad es de 2 a 5 cm (Gutierrez, 2002; citado en Gomez, 2007).

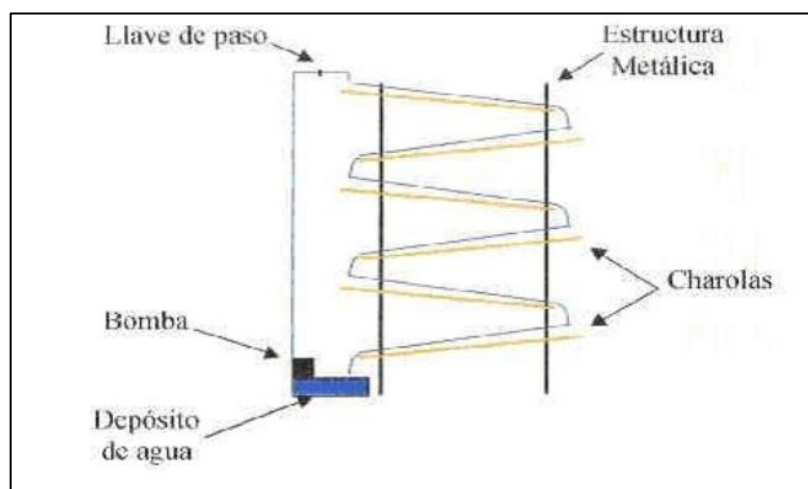
Figura 4. Bandejas para producir Forraje Verde Hidropónico. (Maruplast, 2019)



Sistema de riego

Señala que existen varios sistemas para proporcionar a la planta la humedad y alimento que requiere para una producción óptima. En la técnica de cultivo hidropónico, describiremos las formas más fáciles, usuales y económicas de hacerlo (Samperio, 1997; citado en Gomez, 2007).

Figura 5. Sistema para producir Forraje Verde Hidropónico. (Rodríguez 2003)



2.2.8. Requerimientos en la producción del forraje verde hidropónico

Dosis de siembra

Delgado (2016), menciona a Izquierdo (2001); y consideran que las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2 a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 centímetros de altura en la bandeja. Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas.

Según Ramírez (2001); citado en Delgado (2016); indican que la dosis exacta es de 3 kilos de semilla por metro cuadrado, distribuidos uniformemente, el ambiente debe tener una humedad del 80%.

FAO (2001); sustenta que la densidad de siembra adecuada para tener un rendimiento óptimo de forraje hidropónico es de 5 kg de semilla por metro cuadrado, con una temperatura que oscila entre 16 a 20 °C y una humedad relativa de 85 %.

Calidad de la semilla

Lopez, et al. (2013); dicen que el éxito del FVH inicia con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 90% para evitar pérdidas en rendimiento.

Meza (2005), menciona a la FAO (2002); e indican que la semilla a utilizar debe de ser limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% a través de un baño de inmersión, el cual debe durar como máximo 3 minutos; y que el lote de semillas no debería contener semillas partidas ni semillas de otros cultivares comerciales.

Germinación

Delgado (2016), menciona a Matilla (2003); y definen la germinación como el conjunto de procesos metabólicos y morfo-genéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula capaz de valerse por sí misma y transformarse en una planta fotosintéticamente competente. La germinación de una semilla es pues, uno de los procesos más vulnerables por los que atraviesa el ciclo vital de una planta ya que de ella depende el desarrollo de la nueva generación.

Delgado (2016); señala que la absorción de agua por remojo causa el hinchamiento y la ruptura de la cubierta protectora, luego inicia la germinación, cuando la semilla inicia la actividad enzimática y el metabolismo respiratorio, Comenzando a asimilar sus reservas que le ayudarán a emerger el embrión y su crecimiento de un día a otro se observa la emergencia de la raíz y posteriormente el tallo.

Iluminación

Según Palomino (2008), citado en Delgado (2016); comentan que al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue, pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces.

Lopez, et al. (2013); indican que en ausencia de luz la fotosíntesis se ve afectada negativamente, por lo que la radiación solar es básica para el crecimiento vegetal, y, en consecuencia, en el rendimiento final. En términos generales, un invernadero con cubierta plástica que proporcione 50 % de sombreo es suficiente para la producción de FVH.

Temperatura

Parsons (1981), citado en Delgado (2016); indica que la cebada se cultiva principalmente en zonas templadas, sin embargo, la planta puede crecer en áreas con altas temperaturas, en condiciones de baja humedad. La temperatura adecuada para el cultivo de esta planta varía entre una mínima 3 – 4 °C y una máxima de 25 – 35°C.

Meza (2005), menciona a Wilson & ford (1973); y sustentan que las plantas tienen diferentes comportamientos según las condiciones climatológicas en que se encuentran. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para la producción de FVH se sitúa siempre entre los 18°C y 26°C

Humedad

Lopez, et al. (2013); señalan que la humedad relativa en el interior del invernadero es muy importante. Ésta no debería ser menor a 70 %. Valores de humedad superiores a 90 % sin adecuada ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido a enfermedades fúngicas difíciles de eliminar, además de incrementar los costos operativos. La excesiva ventilación y baja humedad relativa, provoca un ambiente seco y disminución significativa de la producción por deshidratación del forraje.

Sanchez (2013); menciona que la humedad es un factor de gran importancia, pues ejerce influencia directa en las estomas, casos de poca humedad en el ambiente no sería posible la absorción de CO₂ y por tanto no se asimilaría. Se puede lograr aumentando la higrometría por medio del riego de los pasillos y la superficie de las hojas. Se debe mantener la humedad en un 50 – 70% (moderadas).

Calidad del agua de riego

Lopez, et al. (2013); dicen que la calidad de agua de riego es otro de los factores importantes en la producción de FVH. La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su potabilidad. Puede ser agua de pozo, agua de lluvia o agua de la llave. Si el agua disponible no es potable, se podrían tener problemas sanitarios por lo que se recomienda realizar un análisis microbiológico para usar el agua de manera confiable. Es recomendable realizar un análisis químico del agua, y con base en ello,

formular la solución nutritiva, así como evaluar algún otro tipo de tratamiento que tendría que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, acidificación, etc.)

El pH del agua riego

García (2015), menciona a la FAO (2001); e indican que el valor del pH del agua de riego debe de oscilar entre 5.2 y 7 y salvo raras excepciones como las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5 el resto de las semillas utilizadas (en su mayoría cereales) usualmente el FVH, no se comportan eficiente mente por encima del valor de 7.

Conductividad eléctrica del agua de riego

Meza (2005); indica que la conductividad eléctrica del agua (CE), indica cual es la concentración de sales en una solución. En este caso, nos referimos siempre a la solución nutritiva que se aplica al cultivo. Su valor se expresa en miliSiemens por centímetro (mScm-1) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. 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 la CE de una solución nutritiva estaría entorno a 1.5 a 2.0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 serían las más aptas para preparar la solución de riego.

Especies cultivadas

Delgado (2016), menciona a Tarrillo (2008); y recomiendan utilizar semillas de cereales provenientes de lotes limpios de impurezas y que procedan de plantas que estén libres de plagas y enfermedades, no debiendo utilizarse semillas tratadas con fungicidas o preservantes.

Se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas. (Marulanda, 2003; citado en Delgado, 2016)

Tipo de bandejas

Se recomienda trabajar con bandejas de plástico o de fibra de vidrio, evitar bandejas de metal ya que estas pueden reaccionar con la solución nutritiva. Las bandejas deberán tener orificios a un lado para permitir el drenaje del agua (Tarrillo, 2008; citado en Delgado, 2016)

FAO (2001); mencionan que el cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases descartables; estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico las cuales a veces son hechas especialmente para este fin

2.2.9. Proceso de producción

Delgado (2016); dice que el procedimiento a seguir para una buena producción de FVH, se debe considerar:

Método de la molina (2005)

Para la Universidad Agraria La Molina, mediante su centro de investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, menciona que una buena producción de forraje verde hidropónico consta de una serie de pasos, las cuales constan de:

- Pesar la semilla.
- Escoger las semillas para eliminar la presencia de semillas partidas, semillas de otras plantas, piedras, pajas, etc.
- Lavar las semillas con agua para obtener semillas limpias.
- Las semillas deben ser lavadas y desinfectadas previamente con una solución de lejía al 1% (10 mL de lejía en 1 L de agua), dejando remojar en esta solución por 1 hora luego se enjuaga con agua.
- Las semillas se remojan a 24 horas, añadiendo agua hasta sumergirlas completamente. Cambiar el agua si se enturbia, esto permite una mayor oxigenación de las semillas.
- Transcurrido el tiempo se procede a escurrir el agua y lavar las semillas. La capa de semilla se nivela en la bandeja. y se realiza el riego, para mantener húmedas las semillas. La capa de semilla no debe no debe exceder de 1,5 cm.

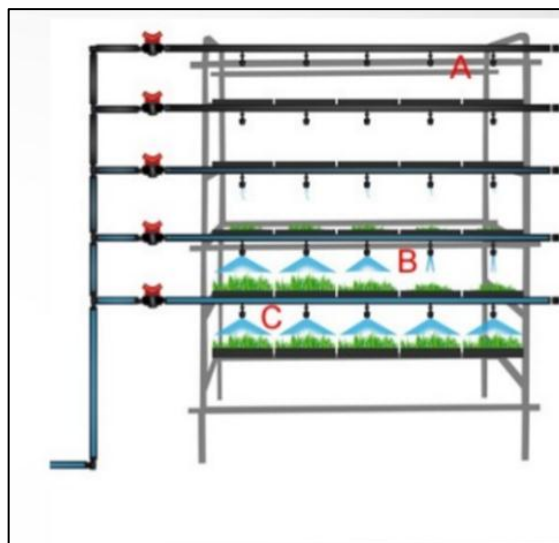
- Cuando aparece la primera hojita, aproximadamente al cuarto día.
- La cosecha se realiza a los 10 o 15 días, con una altura promedio de 20 a 25 cm y se obtiene alrededor de 1800 g de forraje por 300 g de semilla de avena, es decir, una relación de 1:6 aproximada mente.

2.2.10. Riego en la producción de forraje verde hidropónico

Tarrillo (2008), citado en Delgado (2016); señalan que en un sistema de producción de F.V.H. el agua puede ser re circulada, de tal forma que solo existe perdida por evapotranspiración de la planta, pero esta es reducida al mínimo, ya que el F.V.H. se produce dentro de invernaderos, que evita la exposición directa del cultivo a los rayos del sol. Para el riego del forraje verde hidropónico, se recomienda el uso de agua potable o de subsuelo, para evitar una posible contaminación del cultivo, pero en la práctica se ha observado que este cultivo se puede desarrollar sin mayor problema con agua de riego y aun con cierto grado de salinidad.

Rodriguez (2004); manifiesta que un sistema hidropónico necesita la automatización del control del riego ya que, debido a la pequeña reserva de agua del sustrato, el aporte de agua se hace con mucha frecuencia. Para este control automático, el horticultor debe dar al sistema las informaciones necesarias, como son la dosis de riego y criterios para regar con la frecuencia necesaria

Figura 6. Sistema de riego para producir Forraje Verde Hidropónico. (Jacome & Armando 2019)



2.2.11. Riego con solución nutritiva

Hidalgo (1985) & Morales (1987), citados en Garcia (2015); manifiestan que los riegos se realizarán únicamente con agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm. A partir de ese momento se continuarán los riegos con una solución nutritiva la cual tiene como objeto aportar los elementos químicos necesarios, para el óptimo crecimiento del forraje.

FAO (2002); recomienda que, apenas aparecidas las primeras hojas, entre el 4° y 5° día, se comienza el riego con una solución nutritiva. Finalmente, no debemos olvidar que cuando llegamos a los días finales del crecimiento del FVH el riego se realizara exclusivamente con agua para eliminar todo tipo rastro de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y/o raíces.

Orellana (2015); sustenta que una forma de preparar una Solucion Concentrada, comprende la preparaacion de dos soluciones madres concentradas, las que llamaremos Solucion concentrada A y Solucion concentrada B.

La solucion concentrada A aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayores proporciones.

La solucion concentrada B aporta, en cambio, los elementos que son requerios en menores proporciones, pero esenciales para que la planta pueda desarrollar normalmente los procesos fisiologicos que haran que llegue a crecer bien y a producir abundantes cosechas. (Orellana, 2015)

Tabla 1. Solución Nutritiva “A” y “B”. (FAO, 1997)

Nombre	F. Quimica	Cantidad (gr)
Fosfato Mono Amonico	(NH ₄)H ₂ PO ₄	340
Nitrato de Ca	Ca(NO ₃) ₂	2080
Nitrat de K	KNO ₃	1100

Nombre	F. Quimica	Cantidad (gr)
Sulfato de Mg	MgSO ₄	4.92
Sulfato de Cu	CuSO ₄	0.48
Sulfato de Mn	MnSO ₄	2.48
Sulfato de Zn	ZnSO ₄	1.2
Acido borico	H ₃ BO ₃	6.2
Molibdato amonico	(NH ₄) ₂ MoO ₄	0.02
Quelato de Fe		50

Nota: Por cada litro de agua se le agregan 1.25cc de solucion A y 0.5cc de solucion B

2.2.12. Gasto de agua en la producción del FVH

FAO (2002); señala que al comienzo (primeros 4 días) no deben aplicarse más de 0,5 litros de agua por metro² por día hasta llegar a un promedio de 0,9 a 1,5 litros por metro cuadrado. El volumen de agua de riego está de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales internas del recinto de producción de FVH.

Delgado (2016); indica que en un invernadero de 480 bandejas requiere de 1000 litros de agua al día, (para riego, lavado, desinfección de semilla, etc.) pero este módulo produce 500 kg de forraje/día. Por lo tanto, se requiere un aproximado de 2 litros de agua por cada kilo de forraje producido.

Romero J. (2016); concluyo que cada bandeja de 28x55 cm² consumió 0.392 litros de agua por día, tanto en el anaquel oscuro como en el anaquel a luz natural, registrado un consumo promedio de 4.312 litros de agua durante el riego.

Gomez (2007); considera que por cada kilogramo se semilla, se utilizara 2 litros de agua con nutrientes o un poco mas. Tres dias antes de la cosecha hay que regar solamente con agua natural, pues esto hara que el forraje resulte mas dulce.

Herrera & Nuñez (2007); dice que en un sistema de producción de FVH el agua utilizada es recirculada y además da a conocer que en 480 bandejas se requiere de 1000 litros de agua al día, (para riego, lavado, desinfección de semilla, etc.) pero este módulo produce 500 Kg de forraje / día. Por lo tanto, se requiere un aproximado de 2 litros de agua por cada kilo de forraje producido.

Izquierdo (2002), citado en Sanchez (2013); señalan que a medida que se riegan y crecen las plántulas se pasa de 0,5 litros por metro cuadrado aumentando progresivamente hasta 1,5 litros por metro dependiendo de la especie

Garcia (2015); manifiesta que la eficiencia varía entre 270-635 litros de agua/Kg de materia seca, esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros/kg de materia seca obtenida en 14 días

Garduño (2011), cita a Lomelli (2000); nos dicen que varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca, además alternativamente, “la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18%. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

Tabla 2. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo (Garduño 2011)

Especie	Litros de agua/Kg de materia seca (promedio de 5 años)
Avena	635
Cabada	521
Trigo	505
Maiz	372
Sorgo	271

2.2.13. Frecuencia de aplicación de riego en la producción del FVH

Delgado (2016); se aplicó 0,5 litros de agua por bandeja al día hasta llegar a un promedio de 2 litros por bandeja diarios. Las cantidades de agua de riego se dividieron en tres aplicaciones por día, el primer riego se hizo a las 8:00 horas, el segundo riego a las 13:30 horas y el tercer riego a las 18:00 horas.

Romero (2016); señala que en la práctica para la frecuencia de riego en la producción de forraje verde hidropónico está determinado en evitar la pérdida de agua en el forraje, por lo que se emplea riegos de alta frecuencia 0 -7 de veces al día.

García (2015); indica que una vez realizada la siembra se colocaron las charolas en las estanterías de producción, para inmediatamente empezar con los riegos con pura agua, los cuales se aplico 4 veces la día, con una cantidad de ½ litro por charola, el primer riego a las 8.00 am, el segundo a las 12 del día, el tercero a las 4 pm y la última a las 6 pm. esto durante los primeros 4 días de establecimiento del cultivo en la cámara.

Jimenes (2013); sustenta que varía según la condición climática local, será más frecuente en clima cálido seco, que, en las frescas, húmedas, basta 2 – 3 aplicaciones por semana, o de 0 – 6 aplicaciones diarias.

Romero J. , (2011); señala que los riegos de los tratamientos se hicieron diario utilizando atomizadores de 1Litro a intervalos irregulares entre horas para que las semillas no se deshidrataran. Los tratamientos se regaron por día de 4 a 6 a veces y el agua utilizada

Garduño (2011); nos dice que la frecuencia del riego se aplica en muchos de los casos por observación, aplicando el criterio de ver y sentir la humedad del grano, evitando encharcamientos en las charolas. El mejor procedimiento para establecer la frecuencia de riego es observar a las plantas. Por las condiciones del lugar; seco, árido y frío en las tardes y noches, se ha determinado hacer cuatro riegos, evitando regar antes de las 8 de la mañana y después de las 5 de la tarde.

FAO (2002); indica que es importante recordar que las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos.

2.2.14. Formas de riego

FAO (2002); recomiendan que el riego de las bandejas de crecimiento del FVH debe realizarse sólo a través de microaspersores, nebulizadores y hasta con una sencilla pulverizadora o "mochila" de mano. El agua a usar debe estar convenientemente oxigenada y por lo tanto los mejores resultados se obtienen con la pulverización o aspersión sobre el

cultivo o en el caso de usar riego por goteo, poseer un sistema de burbujeo en el estanque que cumpla con la función de oxigenación del agua

Así mismo la FAO (2002); indican que el riego por inundación no es recomendado dado que causa generalmente excesos de agua que estimulan la asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo.

Jimenes (2013); menciona que, en los cultivos hidropónicos 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

Un sistema de riego consta de un tanque para el agua y nutrientes, tuberías de conducción de agua y goteros o aspersores (emisores). La elección de una u otra técnica de riego depende de numerosos factores como las propiedades físicas del sustrato, los elementos de control disponibles, las características de la explotación, etc. (Jimenes, 2013).

2.2.15. Sistemas de riego

Samperio (1997), citado en Gomez (2007); indica que los sistemas de riego más usuales en la producción de forraje verde hidropónico son:

- Riego por aspersión superficial.
- Riego por goteo
- Riego por subirrigación.
- Riego por capilaridad.

El riego de las bandejas de crecimiento FVH debe realizarse solo a través de micro aspersores, nebulizadores, y hasta con una sencilla pulverizadora o "mochila" de mano. El riego por inundación no es recomendado dado que causa generalmente excesos de agua que estimulan la asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo (Sánchez, 1982; citado en Gomez, 2007).

Tabla 3. Eficiencia de Aplicación. (Carrazón 2007; citado en Alania 2013)

Sistema de riego	Eficiencia de aplicación (EA)
Goteo	95%
Microaspersión	90%
Aspersión	75%
Superficie	50%

2.2.16. Coeficiente de uniformidad de riego

Villavicencio & Villablanca (2010); señalan que la programación del riego se realiza con el caudal nominal de cada emisor definida por el fabricante, sin embargo, el caudal puede variar por efectos de la presión, temperatura, obturaciones (físicas, biológicas o químicas) y por fallas en el diseño de los sistemas de riego, por lo que normalmente el caudal real, difiere del caudal nominal. La des uniformidad en el caudal de los emisores, implicará que algunas plantas reciban menos agua de la que realmente necesitan y otras reciban en exceso, con la consiguiente pérdida de rendimiento.

Por esto es importante realizar un chequeo periódico al sistema, midiendo el volumen de descarga de los emisores, con lo cual podemos determinar si el sistema de riego presurizado, se encuentra funcionando de la manera adecuada, lo que se verifica determinando el Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC).

Tabla 4. Valores de Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC).

Funcionamiento	Coeficiente de uniformidad CU
Excelente	90 - 100 %
Buena	80 - 90 %
Aceptable	70 - 80 %
Inaceptable	< 70 %

Loba, Ramírez, & Díaz (2011); indican que Para evaluar la eficiencia de riego en el sistema se determinó el coeficiente de uniformidad (CU), de conformidad con el criterio de evaluación propuesto por Pizarro (1996), que se define con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a}$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad

$q_{25\%}$: Caudal medio recibido por el 25% de los emisores que reciben menos caudales en la prueba

q_a : Caudal medio de los emisores evaluados en la prueba se campo.

2.2.17. Riego por aspersión

Jimenes (2013); dice que este es tal vez el riego más común, pues es el que se adapta mejor a las posibilidades económicas de cada cultivador. Existen sistemas muy simples que constan de una bomba de aspersión manual, o se puede utilizar una bomba de aspersión a motor de gasolina. Existen otros sistemas fijos con aspersores o micro aspersores, para lo que necesario la instalación de toda una red de tuberías y un compresor.

2.2.18. Riego por microaspersión

Villafáfila y Wyss (2009), citados en Ramirez (2018); dicen que, es un sistema que se caracteriza por aplicar el agua en un punto específico en forma de lluvia fina o de niebla, permitiendo uniformidades de riego muy alta, siendo el medio por el cual se desplaza la gota el aire.

Fernández et al. (2010), citados en Ramírez (2018); dicen que, son emisores que distribuyen el agua al suelo en forma de fina lluvia sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo (por lo que se incluyen dentro de los emisores de riego localizado). Tanto unos como otros mojan una superficie circular con un radio normalmente menor de 3 a 4 metros. Los micro aspersores tienen alguno de sus elementos móviles, generalmente efectuando un movimiento de rotación.

Chavez, Dueñas, Rodriguez, & Vera (2011); mencionan a Matallana & Montero (2001), señalan que consiste en aplicar agua en forma de lluvia fina mediante dispositivos (Llamados micro aspersores) que la distribuyen en un radio no superior a los 3 metros.

Valverde (2007); menciona que el riego por micro aspersión es un sistema que se caracteriza por aplicar agua en el terreno o en un punto específico en forma de lluvia o gotas

finas, por medio de emisores llamados micro aspersores. El radio de alcancé de estos emisores no suele sobrepasar los 3 m. Dentro del riego por microaspersión se puede encontrar dos tipos de emisores:

- Difusores: Emisores con todos los componentes fijos.
- Micro aspersores: Emisores con algún mecanismo de rotación.

CENTA (2003); menciona que los micro aspersores trabajan normalmente a presiones de 10m a 20m de columna de agua (m.c.a.), cuya presión más frecuente es de 10m.c.a. normalmente los caudales varían de 20 a 150 l/h.

2.2.19. Características hidráulicas de los micro aspersores

Caudal

Fernández et al. (2010), citados en Ramírez (2018); define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades: litros/segundos(L/s), litros/hora (L/h), metros cúbicos/hora (m³/h)

Presión

Fernández et al. (2010), citado en Ramírez (2018); define la presión como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema. válvulas, reguladores, etc.) y hacer funcionar correctamente los emisores (en riego por aspersion los aspersores); La presión suele medirse utilizando manómetros. Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes: Atmosferas (atm), Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm²), Metros de columna de agua (m.c.a.).

Equivalencias de presión.

- 1 m.c.a. = 9806.38 Pa = 1000 kg/m² = 1.422 PSI
- 1 kg/cm² = 100 kPa = 10 m.c.a.
- 1 bar = 10.2 m.c.a. = 0.1 kg/cm²

- 1 atm. = 10.33 m.c.a.

2.2.20. Automatización de sistemas de riego

Según Berrocal (2013), citado en Takaezu (2017); dicen que en la automatización se transfieren tareas de producción a un conjunto de elementos tecnológicos. Las tareas se traducen en acciones de manera precisa y repetitiva con mínima mano de obra o intervención del hombre; controlando la ejecución y llevando registro de estas. Lo que buscamos con la automatización: La entrega de información en tiempo real de los datos necesarios para tomar decisiones de riego con precisión. Los equipos de automatización nos permiten controlar, recoger, consolidar y transmitir dicha información.

2.2.21. Rendimiento en la producción del FVH

Chiribola, (2001), citado en Gomez (2007); indican que por cada kilo de semilla se producen de 18 a 24 kilos de forraje hidropónico con 18% de materia seca y más de 16% de proteína.

Además (Gomez, 2007; menciona a Charles, 1995); señalan que la relación de producción de FVH, es de 1 a 9, es decir que por cada Kg de semilla e cebada utilizada se obtiene 9 Kg de FVH y no es difícil llegar a relaciones de 1 a 12 o 1 a 15.

Sanches, (1982); citado en Gomez, (2007); manifiestan que los rendimientos encontrados en diferentes literaturas a nivel mundial habla de 9 a 12 Kg de bioasa forrajera por 1 Kg de semilla.

Herrera & Nuñez (2007); señalan que la producción de granos germinados para uso forrajero bajo control de temperatura, humedad y semilla de calidad, alcanza un rendimiento de 10 a 12 veces el peso de la semilla, y una altura de 20 cm., aproximadamente en un período de 7 a 10 días

Lomeli (2000), citado en Romero J. , (2011); mencionan que en la producción de FVH, con una conversión de semilla a FVH en relación de 1kg de semilla a 9 a 10 kg de pasto en un lapso de 8 a 17 días, dependiendo de los objetivos y condiciones medioambientales sobre las cuales se desarrollen las plántulas.

Delgado (2016); detallan que se han obtenido cosechas con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kilos de FVH producidos por cada kilo de semilla utilizada a los 15 días y en un clima favorable para el desarrollo del mismo.

2.2.22. Materia seca

Ramírez (2011), citado en Romero (2016); comentan que el porcentaje de materia seca se refiere a la cantidad de alimento menos el agua contenida en dicho alimento, en otras palabras, si una muestra de alimento X se somete a un calor moderado (típicamente 65°C por 48 horas) de tal modo que toda el agua se evapore, lo que queda es la porción de materia seca de ese alimento.

En cuestiones prácticas no es necesario calcular de manera separada el contenido de humedad y el de materia seca, nótese que el porcentaje de materia seca sumado con el porcentaje de humedad es igual a 100; de tal modo que si se conoce cualquiera de los dos datos se puede determinar el segundo simplemente por diferencia.

2.3. Prueba de rango múltiple de Duncan

Perez (2012); nos comenta que Duncan propuso el siguiente procedimiento para probar $H_0: \mu_i = \mu_j$ contra $H_1: \mu_i \neq \mu_j$ para todos los pares posibles de medias:

Los k promedio de los tratamientos se arreglan en orden ascendente

El error estándar de cada promedio se determina como:

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{CM_E}{n_h}}, \quad \text{donde} \quad n_h = \frac{k}{\sum_{i=1}^k (1/n_i)}$$

Si el diseño es balanceado, $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$, entonces $nh = n$.

Se prueban todas las diferencias observadas entre las medias, empezando con la más grande contra la menor, la cual se compara con el rango mínimo de significación R_k . Después, se calcula da diferencia de la mayor y la segunda menor y se compara con R_{k-1} . Este proceso se continua hasta que todas las medias se han comparado con la mayor.

Después se calcula la diferencia de la segunda media mayor y la menor y se compara con $RK-1$. Este proceso se continua hasta que los $K(K-1)/2$ pares de medias posibles se han comparado. Si alguna diferencia es mayor que su rango de significación correspondiente, se concluye que ese par de medias es significativamente diferente.

En la prueba de Duncan, a medida que el número de pares de medias aumenta, se requiere una diferencia observada más grande para detectar pares de medias significativas diferentes. El nivel de significación global de la prueba es $1 - (1-\alpha)^{\rho-1}$, donde α es el nivel de significación para dos medias adyacentes.

El índice de error de reportar al menos una diferencia significativa incorrecta entre medias que están ρ pasos aparte es $1 - (1-\alpha)^{\rho-1}$.

2.4. Definición de términos

Aspersor: Los aspersores son emisores de agua, que funcionando hidráulicamente lanzando el agua pulverizada a la atmósfera a través de un brazo con una o dos salidas (boquillas) en su extremo, a una distancia determinada. Distribuyen el agua sobre el terreno con un chorro de agua que gira entre dos extremos regulables o girando 360 grados. (Nolasco & Ramirez, 2011)

Riego: El riego consiste en aportar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas que no fueron cubiertos mediante la precipitación. Se utiliza en la agricultura y en jardinería.

Termómetro: El termómetro es un instrumento técnico destinado a medir temperaturas, o sea la energía interna que un cuerpo posee

Hidrómetro: Un higrómetro o higrógrafo es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire o de otros gases. En meteorología es un instrumento usado para medir el contenido de humedad en la atmósfera

ANOVA: Un análisis de varianza (Analysis of Variance) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales.

FAO: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization), es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre.

ONU: La Organización de las Naciones Unidas, Se define como una asociación de gobierno global que facilita la cooperación en asuntos como el Derecho internacional, la paz y seguridad internacional, el desarrollo económico y social, los asuntos humanitarios y los derechos humanos.

2.5. Justificación e Importancia del proyecto

2.5.1. Justificación

Social. Al obtener un volumen de agua adecuado se estará cuidando el agua, ya que se utilizará una cantidad adecuada que se requiere en la producción de Forraje Verde Hidropónico. Además, los resultados pueden ser aplicados por pequeños y grandes productores que presenten escasas de agua, terrenos y pastos.

Económicamente. Un volumen de agua aplicado adecuadamente al Forraje, favorece en forma directa a la economía de la población, disminuyendo el costo de producción del mismo.

Ambientalmente. Para preservar el agua es necesario conocer un volumen de agua para riego. Por lo tanto, al cuidar el agua estamos también cuidando el medio ambiente. Además, con el Forraje Verde Hidropónico se evita el uso de agroquímicos.

Técnicamente. Se realizó el estudio en las instalaciones de un invernadero ubicado en la ciudad de Huaraz, donde aún, no se ha efectuado estudios que determinen el volumen de riego adecuado en la producción en el forraje verde hidropónico bajo invernadero.

2.5.2. Importancia

La importancia del presente trabajo radica en obtener un volumen de agua para riego adecuado en la producción de forraje verde hidropónico bajo invernadero. Además, con los resultados logrados se contribuirá a lograr paquetes tecnológicos de esta tecnología, que serán difundidos a los ganaderos del Callejón de Huaylas.

2.6. Hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se plantea las siguientes hipótesis:

$H_0: \alpha_i = 0 (i = 1, \dots, a) \rightarrow$ Ninguno de los volúmenes de riego ejerce efectos significativos en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Centenario en Huaraz.

$H_a: \alpha_i \neq 0 \rightarrow$ Al menos uno de los volúmenes de riego, ejerce efectos significativos en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Centenario en Huaraz.

2.7. Identificación y operacionalización de variables

Tabla 5. Variables en estudio (Elaboración propia)

Tipo	Variable	Dimensión	Indicador
Independiente	Volumen de riego	Volumen 1	1.1 Litros/m ² /día
		Volumen 2	2.2 Litros/m ² /día
		Volumen 3	3.3 Litros/m ² /día
Dependiente	Producción	Rendimiento Biomasa Fresca	Kg/m ²
		Rendimiento Materia Seca	%
		Índice conversión biomasa TCO/Semilla	Adimensional
	Crecimiento	Altura de planta a los 15 días	cm

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Área Experimental

3.1.1. Ubicación Política

Departamento: Ancash
Provincia: Huaraz
Distrito: Huaraz
Sector: Rio Seco

3.1.2. Ubicación Geográfica

Datum Horizontal Utilizado: WGS84
Hemisferio Sur Zona: 18 SUR
Coordenadas UTM: X: 222478 Y: 8944283
Elevación: 3067 msnm

Temporalmente, el proyecto se ejecutó desde el 17 de Julio hasta el 31 de Julio del presente año.

3.1.3. Características Climáticas dentro del invernadero

Para controlar las temperaturas y humedad relativa dentro del invernadero durante el periodo de ejecución que fue desde el día 17 de Julio hasta el 31 de Julio del presente año, se utilizó un termo-higrómetro. En la tabla N°6, se muestra las temperaturas y humedad relativa tomadas durante los 15 días que duro la ejecución del proyecto de tesis.

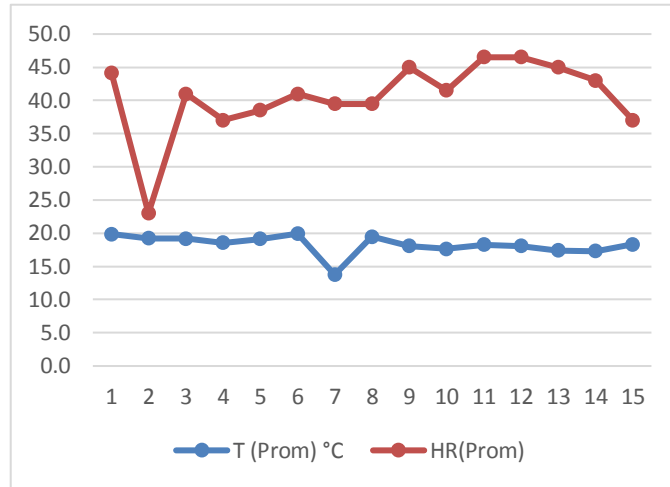
De acuerdo al registro del termo-hidrómetro del invernadero la temperatura promedio fue de 18.28°C, mientras que la temperatura máxima promedio fue de 30.56 °C y la temperatura mínimo promedio de 6 °C. La humedad relativa promedio fue de 40.54 %. En el siguiente cuadro se presenta detalladamente los registros climáticos para el periodo de ejecución de la investigación.

Tabla 6. Registro de lo Temperatura y Humedad Relativa- Invernadero-Huaraz

FECHA	T MAX(°C)	T MIN (°C)	T PROM (°C)	HR(Prom) %
17/07/2019	33.44	6.31	19.88	44.15
18/07/2019	31.81	6.67	19.24	23
19/07/2019	31.81	6.56	19.18	41
20/07/2019	31.64	5.50	18.57	37
21/07/2019	32.22	6.06	19.14	38.5
22/07/2019	32.36	7.50	19.93	41
23/07/2019	19.22	8.28	13.75	39.5
24/07/2019	31.25	7.69	19.47	39.5
25/07/2019	30.06	6.08	18.07	45
26/07/2019	30.31	5.00	17.65	41.5
27/07/2019	30.86	5.69	18.28	46.5
28/07/2019	30.64	5.47	18.06	46.5
29/07/2019	30.53	4.22	17.38	45
30/07/2019	30.56	4.08	17.32	43
31/07/2019	31.69	4.92	18.31	37
PROMEDIO	30.56	6.00	18.28	40.54

Meza (2005), menciona a la Wilson & Ford (1973); e indican que el rango optimo para la producción de FVH se situa siempre entre los 18°C y 26°C, donde podemos apreciar en la tabla N°5 que la temperatura promedio se encuentra dentro del rango sugeridos por los anteriores autores.

Figura 7. Grafico de Temperatura y Humedad Relativa



3.1.4. Características del agua de riego

Para la aplicación del riego del proyecto de investigación, se utilizó agua potable, esta agua se llevaron al Laboratorio de Suelo y Agua de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, para su análisis y se obtuvo el siguiente reporte:

Tabla 7. Características del agua de Riego

TIPO		RIEGO
pH		6.09
c.e	dS/m	0.14
Calcio	me/l	1.15
Magnesio	me/l	0.4
Potacio	me/l	0.06
Sodio	me/l	0.01
SUMA DE CATIONES		1.62
Nitratos	me/l	ND
Carbonatos	me/l	0
Bicarbonatos	me/l	0
Sulfatos	me/l	0.04
Cloruros	me/l	0.76
SUMA DE ANONES		0.8
Sodio	%	0.62
RAS		0.01
Boro	ppm	ND
Clasificacion		C1S1

Análisis del agua de riego de riego: Se tomó una muestra de agua potable para su llevada al laboratorio de Suelos y Aguas de la FCA en la ciudad universitaria se Shancayan, los resultados indica que la muestra se caracteriza por tener una reacción ligeramente acida, se encuentra ubicado en la clase (C1S1), donde C1, nos indica que es de bajo peligro de salinidad, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y los suelos. S1 nos indica que se puede usar para riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción de la estructura. (Ver Anexos N°3, N°4 y N°5)

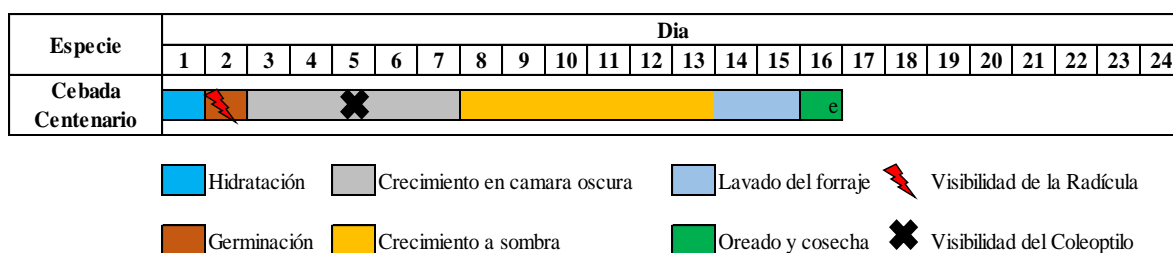
Romero J. (2017), menciona a Rodríguez, Chang, Paqui, & Orosco (2016); y dicen que para una producción hidropónica es importante conocer la calidad de agua y la calidad de la solución nutritiva empleada para el riego, recomendando valores de C.E., menores a 1 dS/m y un pH entre un rango de 5.5 a 6.5; en este caso el valor obtenido para la conductiva eléctrica es de 0.14 dS/m, siendo inferior al recomendado. En el caso del pH el valor obtenido es superior al deseado, lo cual podría limitar la disponibilidad de nutrientes.

3.2. Materiales y Equipos

3.2.1. Material Experimental

Como material experimental, se usó 54 Kg semillas de cebada cultivar centenario, el cual presenta las siguientes características:

Figura 8. Comportamiento fenológico de la Cebada cultivar centenario (Romero J, 2016)



3.2.2. Materiales de invernadero

- 108 bandejas forrajeras
- 03 baldes plásticos
- 03 plástico negro

- 02 tamizador o colador
- 02 reglas milimetrada
- Invernadero de producción de forraje verde hidropónico.
- Módulo de producción de forraje verde Hidropónico
- Cisterna

3.2.3. Insumos

- Agua
- 0.25 litros de hipoclorito de sodio
- Solución Hidropónica la Molina

3.2.4. Equipos

- Bomba de agua de 1 Hp
- Temporizador de riego
- Equipo de microaspersores
- Balanza digital
- Probeta de 100 ml
- GPS.
- Termómetro e Hidrómetro.
- Computadora
- Impresora
- Calculadora
- Cámara fotográfica digitalizada.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de estudio

La investigación es aplicada, debido a que los resultados logrados son aplicados y replicados en el proceso de producción de forraje verde hidropónico.

3.3.2. Universo y población

El universo es conformado por todos los cultivos de forraje verde hidropónico cultivar centenario bajo invernadero en la ciudad de Huaraz y/o condiciones ambientales semejantes al experimento. La población estaba constituida por 108 bandejas (0.28 m x 0.55 m), con una producción promedio de 1.98 Kg por bandeja, con un total de 213.84 Kg de forraje en el ciclo productivo.

3.3.3. Unidad de análisis y muestra

La unidad de análisis para determinar el rendimiento estuvo representada por la producción lograda en una bandeja, que fueron evaluadas al final del proceso productivo. La muestra de cada tratamiento estuvo representada por la producción de 12 bandejas (0.28 m x 0.55 m), y la producción promedio de 23.76 Kg de forraje en cada uno de los casos. En todo el experimento se tubo 36 bandejas como muestra. La muestra para determinar la materia seca estuvo representada por muestras de 400 g de forraje de las bandejas centrales de cada unidad experimental (1200 g por tratamiento). Para determinar el tamaño del forraje se tomó como muestra 20 plantas de cada unidad experimental (60 plantas por tratamiento).

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completo al azar (DBCA), con tres repeticiones y tres tratamientos. Contando para el caso con un total de 9 unidades experimentales, que fue el agrupamiento de doce bandejas forrajeras de 55 cm x 28 cm.

3.4.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico comprendido el análisis de varianza (ANVA) para las observaciones experimentales cuantitativas, realizándose la prueba de significancia de F a 5% de error. Para la comparación de medias entre tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de Duncan ($\alpha=0.05$)

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Unidad experimental que recibe el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

μ : Efecto de la media general.

T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j : Efecto del j-ésimo bloque.

ξ_{ij} : Efecto del error experimental.

Tabla 8. Análisis de varianza generalizado para un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 03 tratamientos y 03 Bloques

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F _c
Bloque	r-1	$\frac{\sum_{j=1}^r Y_j^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Bloques}}{(r-1)}$	$\frac{CM_{Bloques}}{CM_{Error}}$
Tratamiento	t-1	$\frac{\sum_{i=1}^t Y_i^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Tratamiento}}{(t-1)}$	$\frac{CM_{Tratamiento}}{CM_{Error}}$
Error	(r-1)(t-1)	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^t Y_i^2}{r} - \frac{\sum_{j=1}^r Y_j^2}{t} + \frac{Y_{..}^2}{rt}$	$\frac{SC_{Error}}{(t-1)(r-1)}$	
TOTAL	Rt-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 + \frac{Y_{..}^2}{rt}$		

3.4.3. Tratamientos

Los tratamientos en estudio serán tres las cuales están identificadas de la siguiente manera:

Tratamiento 1: Volumen de agua 1 = 1.1 litros/m²/ día

Tratamiento 2: Volumen de agua 2 = 2.2 litros/m²/ día

Tratamiento 3: Volumen de agua 3 = 3.3 litros/m²/día

3.4.4. Descripción del área experimental

Características del área experimental

Largo: 5.04 m

Ancho: 1.10 m

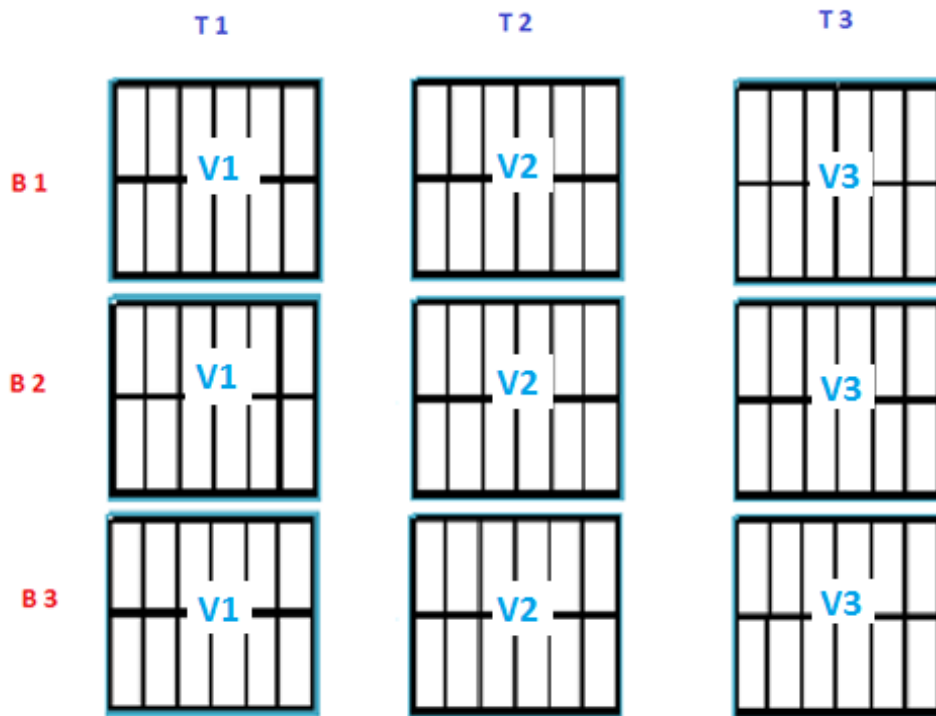
Área: 5.54 m²

Repeticiones: 03

Tratamientos: 03

Total, unidades experimentales: 09

Figura 9. Diseño del area experimental (Elaboracion propia)



Características de la unidad experimental

Largo: 1.68 m

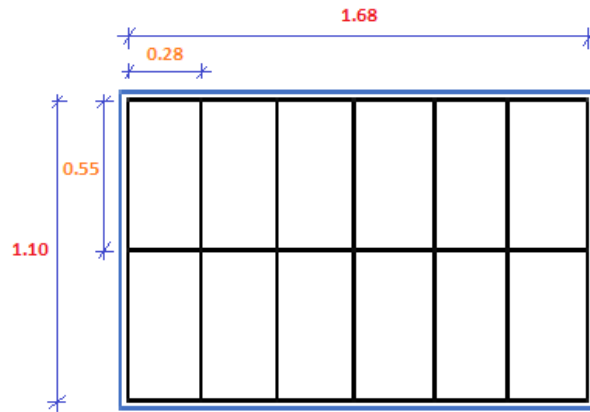
Ancho: 1.10 m

Área: 1.848 m²

Bandejas por U.E.:12

Dosis siembra: 500 g de semilla de cebada por bandeja.

Figura 10. Unidad experimental (Elaboración propia)



3.5. Proceso de campo

3.5.1. Instalación del sistema de riego por microaspersión para el proyecto

Instalación de módulos para la producción del forraje

Para la ejecución del proyecto de Tesis se contó con un invernadero de 8m de largo x 4 m de ancho, donde se instalaron 03 módulos forrajeros de fierro de dimensiones (2.00 alto, 1.68 largo, 1.30 ancho).

Instalación hidráulica

Se instalaron las tuberías PVC de 1" de diámetro con sus respectivos accesorios y 18 unidades de micro aspersores en los módulos. Se instaló también una electrobomba de 1HP de potencia que succionara el agua de una cisterna de 750 litros para después impulsarla hacia los micro aspersores mediante una presión constante.

3.5.2. Manejo del forraje verde hidropónico

Instalación de bandejas para el sembrado

Para el proceso se utilizaron 108 bandejas forrajeras en total de dimensiones: 55 cm de largo x 28 cm de ancho y 6 cm de altura y un peso aproximado de 250 g. El área de la bandeja corresponde a 0.154 m². (Ver Anexo N°20)

Selección de semilla

En la producción del FVH la semilla es el insumo principal, se utilizó semillas de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. (Ver Anexo N°20)

Dosis de siembra

Para todo el estudio se utilizó un total de 54 kg de semilla de cebada, considerando por cada bandeja 500 g de semilla (Ver Anexo N°01)

Lavado de la semilla

Se procedió con el lavado y desinfección de los 54 kg de semilla 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). Finalizado el lavado se procedió a dar un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia. (Ver Anexo N°20)

Remojo de las semillas

En esta etapa se procedió en sumergir las semillas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo se dividió a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se procedió a sacarlas y orearlas (escurrirlas) durante 1 hora. Acto seguido fue sumergido nuevamente por 12 horas para finalmente realizarles el último oreado. (Ver Anexo N°20)

Pre-germinación

Esta labor consistió en orear las semillas, quitándole completamente el agua mediante el uso de un colador, luego se realizó el último lavado de la semilla se dejó las semillas

protegidas de la luz por un periodo de 24 horas, donde iniciaron su germinación. (Ver Anexo N°20)

Siembra en fase oscura

Ya transcurrido las 24 horas en el recipiente bajo la oscuridad se procedió a sembrar las semillas en las bandejas, las semillas ya presentaron raíces así que se distribuyó bien en las bandejas, se dio inicio a los riegos utilizando solo agua. Las semillas permanecieron en esta fase por cuatro días, para ello se cubrió con plástico negro los anaqueles. (Ver Anexo N°20)

Crecimiento en fase luminosa

Una vez después de terminada la fase oscura se retiró el plástico y se expuso las bandejas a la luz hasta que las plantas alcancen una altura promedio de 15 cm. Se aplicaron 5 riegos diarios respectivos a cada unidad experimental de acuerdo a cada uno de los tratamientos. (Ver Anexo N°20)

Lavado

El último día de producción, se procedió a regar el forraje usando únicamente agua limpia, con la finalidad de lavar los residuos de las sales sobrantes en el forraje. (Ver Anexo N°20)

Cosecha y oreo

Se realizó transcurrido los 15 días, considerando que el forraje alcanzó una altura de 15 cm, consintió en retirar las bandejas del anaquel de crecimiento a luz natural y colocar el forraje de manera tal que el agua escurra, dejándolo así por un periodo de 24 horas. Finalizado lo anterior, se pesó el forraje y se consideró la masa tal como ofrecido (TCO). (Ver Anexo N°20)

3.5.3. Determinación del coeficiente de uniformidad

Cabe indicar que se realizó la prueba de coeficiente de uniformidad como se detalla el ítem 2.2.15, ya esta prueba garantiza que cuanto es uniforme fue el riego.

Para realizar esta prueba se realizó en un marco cuadrangular y se usaron 8 recolectores de 12 cm de diámetro y 6 cm de alto, se utilizó el microaspersor modelo Mondragón, con ángulo de riego de 360° de $Q = 610$ ml/min.

Posteriormente con las cantidades captadas en los recolectores, se procedió a medir el contenido con una probeta y se registró, obteniendo 8 medidas de diferentes volúmenes y se ordenó los datos de mayor a menor para poder determinar el coeficiente de uniformidad planteado por Pizarro (1996), que se define con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a}$$

Remplazando los datos da como resultado un coeficiente de uniformidad de 91.26% y comparando con la Tabla N°4 el resultando es excelente. Este proceso de determinar el coeficiente de uniformidad se aprecia a detalle en el Anexo N°2.

3.5.4. Cálculo de los volúmenes de agua para el riego

Para todo el proyecto de tesis se utilizaron 18 micro aspersores en total. Se aplicaron 3 volúmenes de agua diferentes en cada tratamiento.

- En el tratamiento T1, volumen 1
- En el tratamiento T2, volumen 2
- En el tratamiento T3, volumen 3

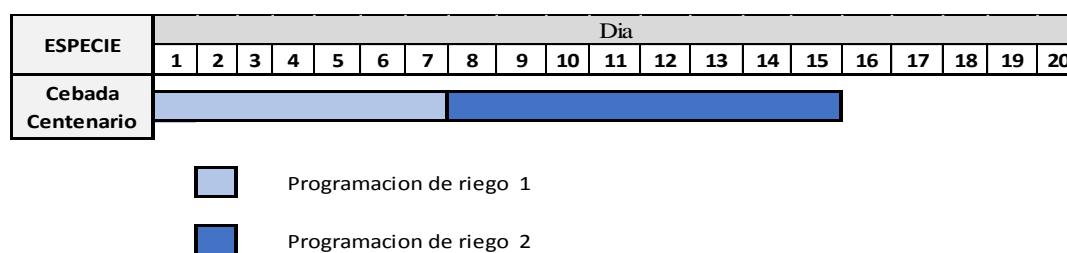
Para el desarrollo del Forraje Verde hidropónico, se utilizó un reloj programador modelo NKG3 (Timer) ya que este hace la tarea de programar en horas y minutos de acuerdo a la conexión con la bomba, permite determinar los intervalos de encendido y facilita la operabilidad del sistema. Una vez programado el Timer, este se conecta a una toma de energía y a su vez la bomba se conecta al Timer. De esta manera el Timer encenderá según lo programado. (Ver Anexo N°20)

De acuerdo a las referencias bibliográficas de diferentes autores que se aprecian en el ítem 2.2.12 recomiendan utilizar diferentes aplicaciones y frecuencias de riego para este tipo de sistema de cultivo por lo que en este proyecto se optó por utilizar 5 aplicaciones diarias. Cabe mencionar que se realizaron 2 diferentes programaciones de riego durante todo el

proceso de producción del forraje que partió desde el día 1 hasta el día 7 una primera programación y la segunda programación partió desde el día 8 hasta el último día tal como se indica en la Figura N°11 (cronograma de la programación de riego).

En las tablas N°9 y N°10 muestra a detalle las horas de programación de encendido, el tiempo de duración y la hora de apagado del Timer.

Figura 11. Cronograma de la programación de riegos



Fuente: Elaboración propia

La primera programación se realizó durante los primeros 7 días después de la siembra, desde el día 17 de julio hasta el día 23 de julio. Se aplicaron de 5 riegos diarios que partió en los siguientes horarios dando inicio desde las 8.00 am, 10.00 am, 12.00 md, 2.00 pm y 4.00 pm, siendo la duración de cada uno de 30 segundos. Cabe mencionar que los primeros días no se requiere mucha agua ya que solo es necesario humedecer las semillas mas no encharcarlas tal como la manifiesta Garduño (2011). Ver tabla N°9

Tabla 9. Programación N°1 de riegos

Numero de Riegos	Hora de Encendido	Duracion de Riego (min)	Hora de Apagado
1	08:00:00 a.m.	0.50	08:00:30 a.m.
2	10:00:00 a.m.	0.50	10:00:30 a.m.
3	12:00:00 p.m.	0.50	12:00:30 p.m.
4	02:00:00 p.m.	0.50	02:00:30 p.m.
5	04:00:00 p.m.	0.50	04:00:30 p.m.
Total		2.50	

Fuente: Elaboración propia

La segunda programación se realizó durante los últimos 8 días, desde el día 24 de julio hasta el día 31 de julio. Se aplicaron 5 riegos diarios que partió en los siguientes horarios

que fueron desde las 8.00 am, 10.00 am, 12.00 md, 2.00 pm y 4.00 pm, en la tabla N°10 se aprecia la duración la programación y duración de cada riego.

Tabla 10. Programación N°2 de riegos

Numero de Riegos	Hora de Encendido	Duracion de Riego (min)	Hora de Apagado
1	08:00:00 a.m.	1.00	08:01:00 a.m.
2	10:00:00 a.m.	0.50	10:00:30 a.m.
3	12:00:00 p.m.	1.00	12:01:00 p.m.
4	02:00:00 p.m.	0.50	02:00:30 p.m.
5	04:00:00 p.m.	1.00	04:01:00 p.m.
Total		4.00	

Fuente: Elaboración propia

Para el determinar el caudal de los emisores se realizó un aforo de cada uno de ellos, obteniendo que el caudal de cada Microaspersor es:

$$Q = 610 \text{ ml/min} = 0.61\text{Lts/min, a una presión de } P= 2.50 \text{ Atm.}$$

En el proceso se utilizaron en total 18 micro aspersores modelo Mondragón, con ángulo de riego de 360°. (Ver Anexo N°6)

Para los volúmenes de agua V1, V2 y V3, se basó según lo mencionan en la bibliografía que sugieren diferentes autores que se aprecian en el ítem 2.2.11, donde indican para este tipo de sistema de cultivo vertical, hidropónico y bajo invernadero, se aplica en muchos de los casos por observación, aplicando el criterio de ver y sentir la humedad del grano, evitando encharcamientos en las charolas.

Romero J. (2016); para estas mismas condiciones de invernadero en Huaraz, informo que uso un volumen de riego de 2.55 litros/m²/día. Así mismo la FAO (2002), señala que al comienzo (primeros 4 días) no deben aplicarse más de 0,5 litros de agua por metro² por día hasta llegar a un promedio de 0,9 a 1,5 litros por metro cuadrado.

En base a estas condiciones se determinó los volúmenes V1, V2 y V3 que se usaron en el presente trabajo de investigación. Dichos volúmenes se aprecian en la parte de resultados. Y el consumo total de agua se puede apreciar en el Anexo N°7

3.5.5. Riego con solución nutritiva

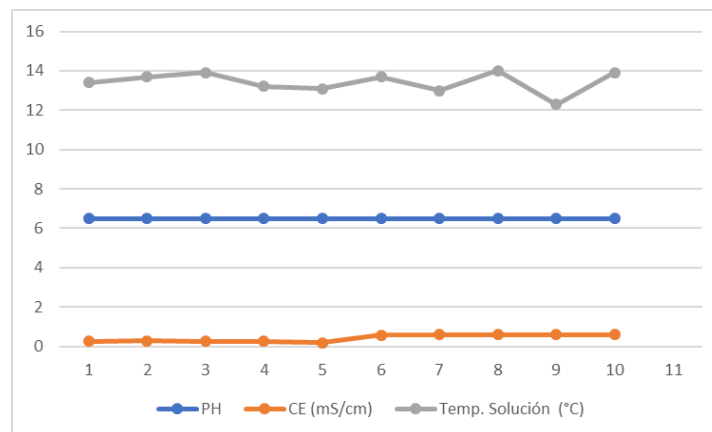
Durante el proceso de producción del FVH, para el riego se empleó una solución nutritiva a base la Solución Hidropónica la Molina a media dosis (2.5 ml de la Solución A y 1 ml de la Solución B por litro de agua), que partido desde el 5 día de la siembra (21 de julio del 2019) hasta el penúltimo día (30 de julio del 2019), tal como recomiendan García (2015), FAO (2002) y Orellana (2015).

Para medir la conductividad eléctrica y el pH de agua de riego con solución nutritiva se utilizó un Conductivímetro y cintas phmetros respectivamente, obteniendo el siguiente reporte de datos.

Tabla 11: Registro de conductividad eléctrica y el pH, del agua de riego con solución nutritiva.

FECHA	PH	CE (mS/cm)	Temp. (°C)
21/07/2019	6.5	0.27	13.4
22/07/2019	6.5	0.29	13.7
23/07/2019	6.5	0.26	13.9
24/07/2019	6.5	0.27	13.2
25/07/2019	6.5	0.18	13.1
26/07/2019	6.5	0.58	13.7
27/07/2019	6.5	0.59	13
28/07/2019	6.5	0.6	14
29/07/2019	6.5	0.6	12.3
30/07/2019	6.5	0.6	13.9

Figura 12: Gráfico de la conductividad electrica, pH y la temperatura del agua de riego.



Según lo mencionado anteriormente por Meza, (2005), indica que la conductividad eléctrica del agua (CE), el rango óptimo de la CE de una solución nutritiva estaría entorno a 1.5 a 2.0 mS/cm. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 serían las más aptas para preparar la solución de riego. Similarmente García (2015), mencionan que el valor del pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7. Por lo que los resultados obtenidos se encuentran en el margen permitido para el riego y producir el forraje sin problemas.

3.5.6. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Las técnicas a utilizar para la recopilación de datos fueron la observación directa, las mediciones físicas y el peso fresco del forraje. Los parámetros evaluados están fundamentados en determinar el volumen de agua, el crecimiento y el rendimiento del forraje, así como el porcentaje de materia seca.

3.5.7. Parámetros evaluados

Altura de planta (Cm)

Se procedió a medir la altura alcanzada por las plantas a los 5, 10 y 15 días después de la siembra. Se muestro al menos 20 plantas por unidad cada tratamiento y se expresó en cm, se empleó una regla graduada. (Ver Anexo N°9)

Rendimiento de biomasa fresca (kg/m²)

Para este proceso, se procedió con el peso de cada bandeja conteniendo el Forraje, se registró al final de la cosecha y cuando el forraje se encuentre en condiciones para ser ofrecido a los animales. (Ver Anexos N°12 y N°13)

Índice de conversión biomasa TCO/semilla

En la producción de forraje verde hidropónico es importante determinar esta relación, pues resulta de utilidad para el análisis económico de los tratamientos. Para determinar el índice se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Índice conversión} = \frac{\text{Peso Biomasa del Forraje TCO (Kg)}}{\text{Peso de la Semilla a la siembra (Kg)}}$$

Materia seca (%)

Esta variable se evaluó para determinar el contenido de materia seca, tanto en el tallo como en raíces, para lo cual se llevó a laboratorio 36 muestras de forraje tal como ofrecido (TCO) y se sometió al secado al horno por un periodo de 48 horas a una temperatura de 65°C. Por la diferencia de peso se obtuvo el contenido de materia seca de la muestra y luego se llevó a porcentaje. La determinación de materia seca se realizó por diferencia de peso entre el peso inicial y el de humedad hallada. (Ver Anexos N°17 y N°20)

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Volúmenes de agua

Tabla 12. Consumo de agua de riego durante los primeros 7 días y para los 8 últimos días

Tratamiento	Q (litros/min)	N° Emisores	T (min/día)	V (l/día)	A. trat.	V (l/m ² /día)	V (l/ban/día)	V(ml/ban/día)
V1	0.610	1	2.50	1.53	1.848	0.83	0.13	127
V2	0.610	2	2.50	3.05	1.848	1.65	0.25	254
V3	0.610	3	2.50	4.58	1.848	2.48	0.38	381

Tratamiento	Q (l/min)	N° Emisores	T (min/día)	V (l/día)	A. trat.	V (l/m ² /día)	V (l/ban/día)	V(ml/ban/día)
V1	0.610	1	4.00	2.44	1.848	1.32	0.20	203
V2	0.610	2	4.00	4.88	1.848	2.64	0.41	407
V3	0.610	3	4.00	7.32	1.848	3.96	0.61	610

Tabla 13. Gasto de agua (Litros) durante los 15 días según tratamiento

Tratamiento	Programacion 1			Programacion 2			V. total (l) a los 15 días	Volumen (l/m ²)	Volumen (l/m ² /día)
	V (l/día)	días	Sub total	V (l/día)	días	Sub total			
V1	1.53	7	10.675	2.44	8	19.52	30.20	16.3	1.1
V2	3.05	7	21.35	4.88	8	39.04	60.39	32.7	2.2
V3	4.58	7	32.025	7.32	8	58.56	90.59	49.0	3.3

Como se aprecia en la Tabla 13, los volúmenes de agua V1, V2 y V3 son 1.1 l/m²/día, 2.2 l/m²/día y 3.3 l/m²/día respectivamente.

4.1.2. Altura de la planta (Forraje)

Tabla 14. Análisis de varianza para altura de la planta a los 5, 10 y 15 días después de la siembra del forraje verde hidropónico de cebada.

ANOVA RENDIMIENTO ALTURA A LOS 5 DIAS						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	0.052	0.026	0.09	6.94	Ns
Volumen	2	1.273	0.637	2.24	6.94	Ns
Error	4	1.136	0.284			
Total	8	2.461	0.308			
CV =	10.20%				Media = 5.22	

ANOVA ALTURA A LOA 10 DIAS						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	0.058	0.029	3.23	6.94	Ns
Volumen	2	6.166	3.083	344.2	6.94	*
Error	4	0.036	0.009			
Total	8	6.260	0.783			
CV =	0.93%				Media = 10.19	

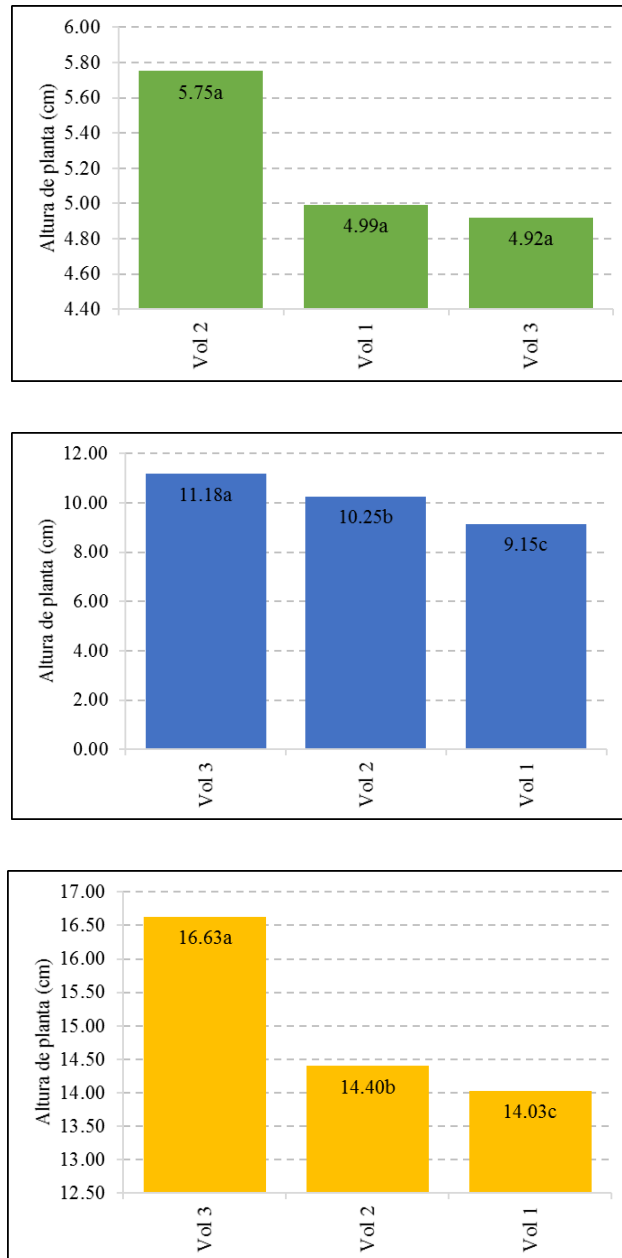
ANOVA ALTURA A LOS 15 DIAS						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	0.034	0.017	1.62	6.94	Ns
Volumen	2	11.882	5.941	566.6	6.94	*
Error	4	0.042	0.010			
Total	8	11.958	1.495			
CV =	0.68%				Media = 15.022	

Como se aprecia en la tabla anterior, el análisis de varianza para la altura de planta (cm), demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre bloques en todos los periodos de evaluación, es decir para los 5, 10 y 15 días. Similarmente, el volumen de riego no genera diferencias estadísticas significativas en la altura de planta a los 5 días de siembra.

Contrariamente, se observa que los volúmenes de riego si afectan significativamente la altura de planta del forraje hidropónico a los 10 y 15 días de siembra. Lo cual motiva, desarrollar la prueba de rango múltiple de Duncan, para establecer con mayor precisión las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (volúmenes de agua)

Los coeficientes de variabilidad para el parámetro evaluado, corresponde a 10.20%, 0.93% y 0.68%. valores que son inferiores al 15%. Lo anterior, nos permite afirmar que los datos han sido tomados con exactitud y gozan de confianza para la interpretación.

Figura 13. Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) para la altura de planta a los 5, 10 y 15 días después de la siembra.



La prueba de rango múltiple de Duncan, al 5% de error, confirma la existencia de efectos significativos de los volúmenes de riego en la altura de planta del forraje hidropónico, a los 10 y 15 días después de la siembra. Específicamente, a los 10 días se observa todos los

volúmenes difieren entre sí, donde el volumen 3, generó mayor altura de planta con 11.18 cm, seguido por el volumen 2 con 10.25 cm y finalmente el volumen 1 con 9.15 cm.

A los 15 días de la siembra, también existen efectos significativos de los volúmenes de riego en la altura de planta. Siendo así, se aprecia que el volumen 3, genero una mayor altura con 16.63 cm, seguido del volumen 2 con 14.40 cm y finalmente el volumen 1 con 14.03 cm.

4.1.3. Rendimiento a la cosecha

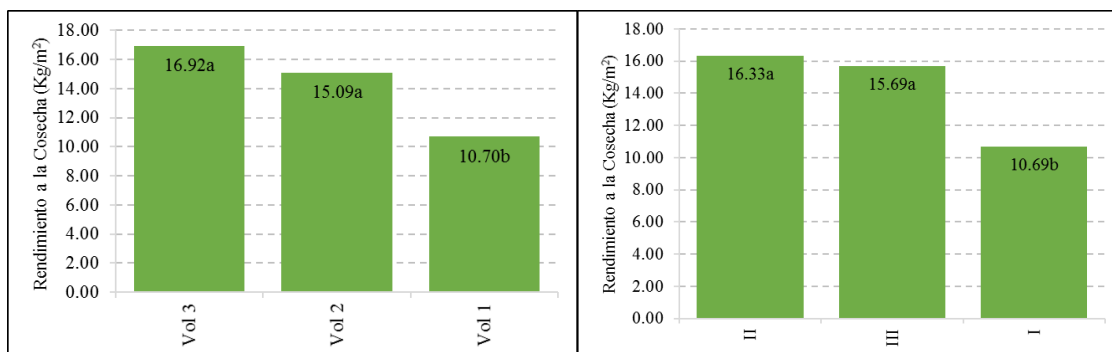
Tabla 15. Análisis de varianza para el rendimiento de forraje verde hidropónico a la cosecha.

ANOVA RENDIMIENTO A LA COSECHA						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	57.205	28.603	9.95	6.94	*
Volumen	2	61.427	30.713	10.68	6.94	*
Error	4	11.501	2.875			
Total	8	130.133	16.267			
CV =	11.91%			Media = 14.24		

El análisis de varianza para el rendimiento a la cosecha (Kg/m^2), indica la existencia de efectos significativos de los volúmenes de riego y bloques, sobre el rendimiento del forraje. El coeficiente de variabilidad para este parámetro evaluado es de 11.91%, otorgando confianza a los datos tomados para el rendimiento a la cosecha.

La prueba de rango múltiple de Duncan, confirma la existencia de efectos significativos de los volúmenes y bloques en el rendimiento del forraje a la cosecha. Siendo así, el volumen 3, genera mayor rendimiento de forraje a la cosecha con 16.92 Kg/m^2 . Sigue el volumen 2 con 15.09 Kg/m^2 y finalmente el volumen 1 con 10.70 Kg/m^2 . Es preciso aclarar, que el volumen 2 y 1 no difieren estadísticamente entre sí.

Figura 14. Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) entre volúmenes de riego y bloques para el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada a la cosecha.



En el caso de los bloques, la prueba de rango múltiple de Duncan, también confirma los efectos de los bloques en el rendimiento a la cosecha del forraje. Siendo así, el bloque II genera mayor rendimiento con 16.33 Kg/m²; a la vez no difiere estadísticamente del Bloque III, que generó un rendimiento de 15.69 Kg/m².

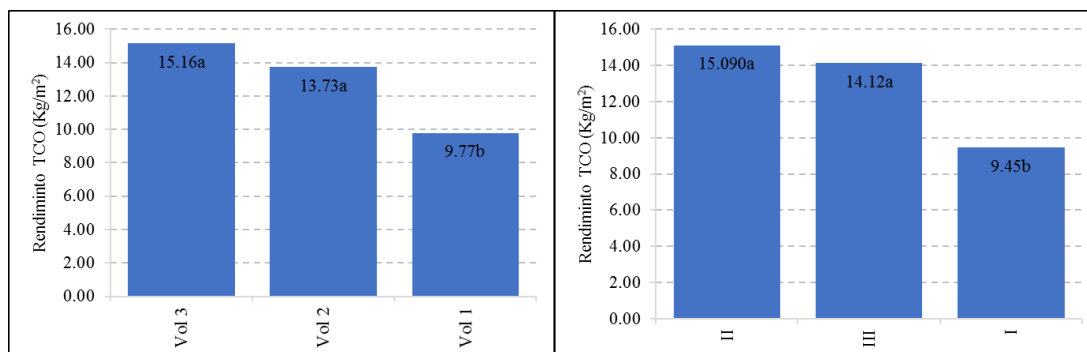
4.1.4. Rendimiento tal como ofrecido (TCO)

Tabla 16. Análisis de varianza para el rendimiento del forraje tal como ofrecido (Kg/m²).

ANOVA Rendimiento TCO						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	54.455	27.227	10.57	6.94	*
Volumen	2	46.684	23.342	9.06	6.94	*
Error	4	10.302	2.576			
Total	8	111.441	13.930			
CV =	12.45%			Media =	12.89	

El análisis de varianza para el rendimiento del forraje tal como ofrecido (Kg/m²), indica la existencia de efectos significativos de los bloques y volúmenes de riego, sobre este parámetro. Siendo así, se procedió realizar la prueba de rango múltiple de Duncan. El coeficiente de variabilidad para este parámetro es de 12.45%, lo cual indica que los datos tomados son confiables.

Figura 15: Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) entre volúmenes de riego y bloques para el rendimiento del forraje tal como ofrecido.



La prueba de rango múltiple de Duncan, valida la existencia de efectos estadísticos significativos de los volúmenes de riego y bloques sobre el rendimiento tal como ofrecido. Siendo así, los volúmenes 2 y 3 no difieren entre sí, sin embargo, ambos se diferencian del volumen 1. A la vez, el volumen 3 genero mayor rendimiento tal como ofrecido con 15.16 Kg/m², seguido por el volumen 2 y 3 con 13.73 y 9.77 Kg/m², respectivamente.

En el caso de los bloques, se encontró que los bloques II y III, no difieren entre ellos, pero si se diferencian del bloque I. Además, el Bloque II generó mayor rendimiento con 15.09 Kg/m², seguido del bloque III y I con 14.12 y 9.45 Kg/m².

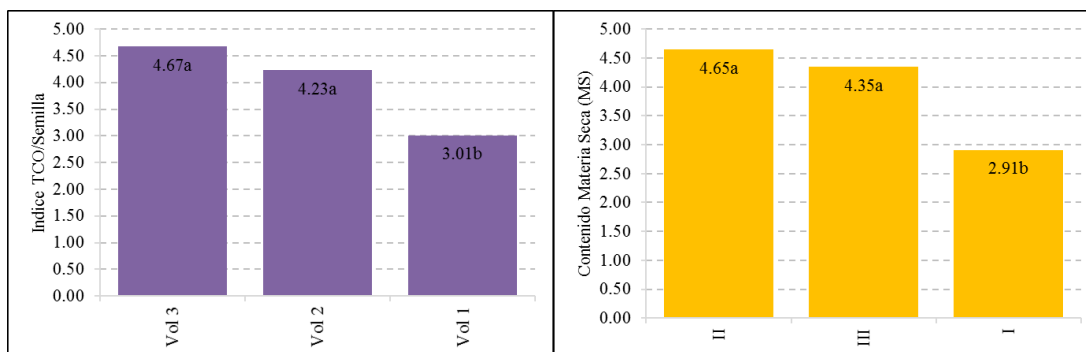
4.1.5. Índice de conversión biomasa TCO/semilla

Tabla 17: Análisis de varianza para el índice de conversión biomasa TCO/Semilla

ANOVA Indice TCO/Semilla						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	5.166	2.583	10.57	6.94	*
Volumen	2	4.429	2.214	9.06	6.94	*
Error	4	0.977	0.244			
Total	8	10.572	1.321			
CV =	12.45%			Media =	3.969	

Como se observa en el análisis de varianza, se puede afirmar que existen efectos significativos de los bloques y volúmenes de riego para el índice de conversión de biomasa tal como ofrecido / semilla. Por tanto, se procedió a realizar la prueba de rango múltiple de Duncan para las fuentes de variación Bloque y Volumen de riego.

Figura 16: Medias y agrupamiento Duncan ($\alpha=0.05$) de volúmenes de riego y bloques para índice de conversión biomasa TCO/semilla.



La prueba de rango múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$), constata la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los volúmenes de riego. Siendo así, el volumen 3 logro mayor índice con 4.67; sin diferenciarse estadísticamente del volumen 2, donde se logró un índice de 4.23. Finalmente, el volumen 1, es diferente estadísticamente de los otros volúmenes de riego, con un índice de conversión de 3.01.

Similarmente, luego de realizado la prueba de rango múltiple de Duncan para los bloques. Se deduce que el bloque II y III no difieren estadísticamente entre sí, pero si se diferencian del bloque I. Además, el bloque II presento un mayor índice con 4.65, seguido del bloque III con 4.35 y finalmente el bloque con 2.91.

4.1.6. Contenido de materia seca

Tabla 18. Análisis de varianza para el contenido de materia seca (%).

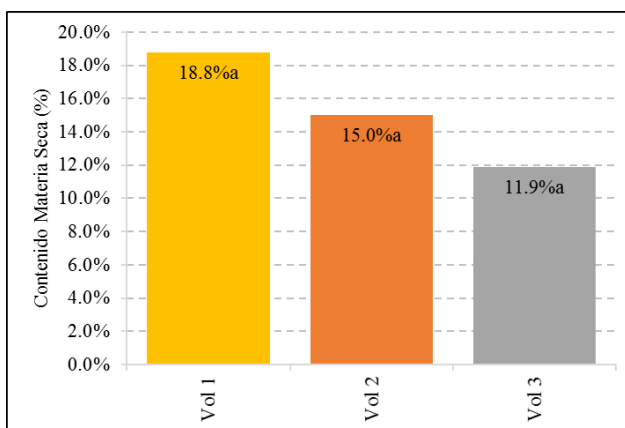
ANOVA RENDIMIENTO						
Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	F 0.05	Sig
Bloque	2	0.027	0.013	3.65	6.94	Ns
Volumen	2	0.007	0.004	0.98	6.94	Ns
Error	4	0.015	0.004			
Total	8	0.049	0.006			
CV =		0.398	Media = 0.152			

De acuerdo a la tabla anterior, se puede deducir que no existen efectos significativos de los bloques y volúmenes de riego en el contenido de materia seca del forraje hidropónico. El

coeficiente de variabilidad para este parámetro es de 0.398, lo cual nos indica que los datos evaluados son confiables.

Sin embargo, en la siguiente figura se puede observar que el volumen de riego 3, genero mayor contenido de materia seca con 18.8%, seguido del volumen de riego 2 y 1 con 15% y 11.9%, respectivamente. Estos resultados, indican que, a mayor volumen de riego, el contenido de materia seca es menor. Lo cual se pudiera deber a que, en condiciones de abundancia hídrica, la planta asimila más el agua, reduciendo en su composición el contenido de otros elementos.

Figura 17: Medias para el contenido de materia seca del forraje hidropónico.



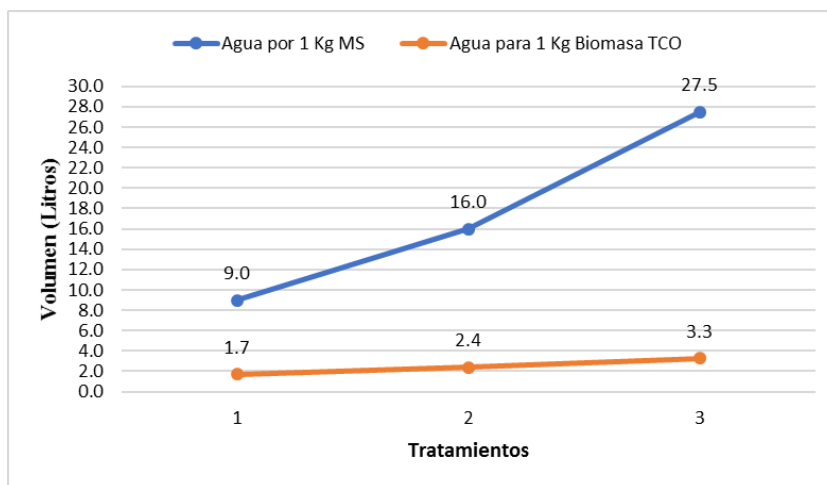
4.2. Discusión

La altura de plantas registradas en el ensayo fue inferior a lo descrito por Elizondo (2005), quien sugirió que la cosecha de forraje verde hidropónico debe ser cuando el cultivo ha alcanzado una altura de 20-25 cm. Sin embargo, Rodríguez, (2003); menciona que la cosecha se debe realizar cuando la planta tenga una altura de 14 a 18 cm, incluyendo el colchón formado por las raíces. Cabe aclarar, que las medidas del experimento no consideraron la altura del colchón de raíces. Del mismo modo se recomienda realizar la cosecha cuando el forraje tenga una altura promedio de 16 cm, pues en el caso de la cebada es en este momento cuando está el mayor contenido de proteína (Rodríguez, 2003). En el presente ensayo la altura final del forraje fue de 16.63 cm, aplicando un volumen V3.

Se determinó los volúmenes de agua de riego que fueron: ($V1 = 1.1$ litros/ m^2 /día), ($V2 = 2.2$ litros/ m^2 /día) y ($V3 = 3.3$ litros/ m^2 /día). Obteniendo un rendimiento máximo de 16.92 Kg/ m^2 con un volumen de 3.3 litros/ m^2 /día.

Romero J. (2016); informa que uso un volumen de riego de 2.55 litros/ m^2 /día, tanto en el anaquel oscuro como en el anaquel a luz natural, este volumen es inferior al volumen 3; sin embargo, el rendimiento logrado en su experimento es de 10.38 Kg/ m^2 .

Figura 18: Consumo de agua por kilogramo de biomasa TCO y Materia seca según tratamientos.



Como se observa en el gráfico anterior, para el volumen 1, se requiere 1.7 litros de agua para producir 1 kg de biomasa tco, en el caso del volumen 2, se requiere 2.4 litros. Finalmente para el volumen 3 se requiere 3.3 litros para 1 Kg de biomasa TCO. Los requerimientos, en el caso del volumen 1 es inferior al señalado a Herrera & Nuñez (2007); quien afirma que se requiere un aproximado de 2 litros de agua por cada kilo de forraje producido.

Por otro lado, el volumen de riego 2, esta dentro del rango planteado por Garduño (2011), quien informa que los requerimientos de agua son de 15 a 20 litros de agua por Kg de materia seca obtenida en 14 días.

Respecto al requerimiento para materia seca. En la Figura 18, se puede apreciar que en el volumen 3 se requiere 27.5 litros para 1 Kg de materia seca, en caso del volumen 2, se puede

lograr 1 Kg de materia seca con 16 litros de agua. Finalmente, con el volumen 1 con 9 litros se puede lograr 1 Kg de materia seca. Sin embargo, el rendimiento es bajo.

Referente a lo anterior Garcia (2015); manifiesta que la eficiencia varia entre 270-635 litros de agua/Kg de materia seca. Para el mismo parametro Garduño (2011), informa que los requerimientos de agua que varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Como se observa, estos valores son altamente superiores al logrados en los tres volúmenes del experimento.

Aumassanne, Fontanella, Beget, Di Bella, & Sartor (2018); concluyo que la huella hídrica (HH) se presenta como un indicador geográfico y temporal de sostenibilidad que permite conocer cuál es el volumen total de agua que se necesita para producir los bienes y servicios de una población. Por lo que reporta que para producir 1 kg de alfalfa se requiere 1003 litros y 986.6 litros para 1 Kg de maíz.

Rios , Torres, Castro, Torres, & Ruiz (2015); determinaron la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017 Comarca Lagunera, México, obteniendo que los índices de productividad física fueron en promedio 252 L kg⁻¹ (sorgo forrajero 181 L kg⁻¹, avena forrajera 413 L kg⁻¹, alfalfa L kg⁻¹)

Capera & Figueroa (2016); reportaron que los resultados obtenidos para producir pasto Kikuyu fueron 952,52 Litros/TonMS; 834,68 Litros/TonMS y 705,35 Litros/TonMS.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La altura final de la planta (forraje) alcanzado a los 15 días, aplicando los volúmenes de agua V3 (3.3 l/m²/día), V2 (2.2 l/m²/día) y V1 (1.1 l/m²/día), fueron de 16.63 cm, 14.40 cm y 14.03 cm respectivamente.

El rendimiento a la cosecha de la biomasa del Forraje (Kg/m²), se obtuvo como resultado que con el volumen V3 (3.3 l/m²/día) alcanzo un rendimiento de 16.92 Kg/m², mientras que con el volumen V2 (2.2 l/m²/día) se logró 15.09 Kg/m² y finalmente con el volumen V1 (1.1 l/m²/día) el rendimiento fue de 10.70 Kg/m². El rendimiento tal como ofrecido (TCO) que es 24 horas de oreo tras la cosecha del Forraje (Kg/m²), se logró con el volumen V3 (3.3 l/m²/día) un rendimiento de 15.16 Kg/m², mientras que con el volumen V2 (2.2 l/m²/día) se obtuvo 13.73 Kg/m² y finalmente aplicando un volumen de agua V1 (1.1 l/m²/día) fue de 9.77 Kg/m²

El contenido de materia seca tuvo como resultado que con el volumen V1 (1.1 l/m²/día) se obtuvo un porcentaje de materia seca con 18.8%, seguido del volumen V2 (2.2 l/m²/día) y volumen V3 (3.3 l/m²/día) con 15% y 11.9%, respectivamente. Por lo que se puede concluir que a mayor volumen de agua aplicado al forraje se tendrá menor contenido de materia seca.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

Realizar nuevas investigaciones, referentes a la validación de los logros de la tecnología de Forraje verde hidropónico en otras especies y zonas climáticas.

Evaluar distintas variedades de cebada en la producción de forraje verde hidropónico.

Recomendar el uso de este tipo de sistema hidropónico a los productores ya que este tipo de forraje es de alta calidad y les permitirá tener animales más sanos y productivos.

BIBLIOGRAFIA

- Acrobat, d. (15 de 08 de 2019). *Search*. Obtenido de https://www.google.com/search?biw=1920&bih=969&tbm=isch&sa=1&ei=qilvxfn egi3l5glnly7acq&q=sistema+de+riego+para+forraje+verde+hidroponico&oq=sistema+de+riego++forraje+verde+hidroponico&gs_l=img.1.0.0i7i30j0i24.91242.93793..96989...0.0..0.270.2362.0j16j1...
- Alania, F. (2013). *"Diseño, construcción y evaluación de un sistema de riego por microaspersión para el vivero de la facultad de agronomía·UNAS"*. Tingo Maria-Peru.
- Aumassanne, C., Fontanella, D., Beget, M., Di Bella, C., & Sartor, P. (2018). Estimación de la huella hídrica de alfalfa y maíz en el área bajo riego. *Comisión nacional de investigaciones científicas y técnicas*.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponia*. Buenos Aires: EDULP.
- Cajamarca, B., & Montenegro, S. (2015). *Selección de una línea promisorio de cebada(hordeum vulgare l)bio_fortificada, de grano descubierto y bajo contenido de fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana*. Cuenca-Ecuador.
- Capera, A., & Figueroa, K. (2016). *Determinación de la huella hídrica del pasto kikuyu (pennisetum clandestinum) mediante el programa cropwat 8.0 en la finca giragua*. Bogota-Colombia: Universidad de la Salle.
- Castro, A. (2012). *Forraje hidroponico para alimentar cabras*. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganaderia.
- CENTA. (2003). *Técnicas de riego*.
- Chavez, N., Dueñas, H., Rodriguez, R., & Vera, E. (2011). *Implementación de un sistema de riego por micro aspersion para el cultivo de cacao (theobroma cacao l.) En la hacienda "la teodomira"*. Santa Ana-Ecuador.

- Delgado, J. (2016). *Producción de avena (avena sativa) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la ciudad de el alto*. La Paz- Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- FAO (2002). Forraje verde hidropónico. *Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación*, 55.
- García, A. (2015). *Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento y calidad del forraje verde hidropónico*. Mexico.
- Garduño, F. (2011). *Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía*. Mexico D.F.
- Gómez, M. (2007). *Evaluación del forraje verde hidropónico del maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas del crecimiento y engorde de cuyes*. Riobamba-Ecuador: Escuela superior politecnica de chimborazo.
- Herrera, E., & Nuñez, W. (2007). *Producción y uso de forraje verde hidropónico de cebada, maíz amarillo y asociados en el engorde de cuyes.*”. Huacayo-Peru.
- Invernaderos & source. (15 de 08 de 2019). Obtenido de https://www.google.com/search?q=invernadero&source=lnms&tbm=isch&sa=x&ved=0ahukewiq8fkmopxkahwhq1kkhr5tc_yq_auiessgb&biw=1920&bih=969#imgrc=ii4b215t6ugu5m:
- Jacome, L., & Armando, D. (15 de 08 de 2019). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/pahola91/sustentacion-de-seminario>
- Jimenes, J. (2013). *“Producción de forraje verde hidropónico de trigo y cebada, en diferentes épocas de cosecha en la quinta experimental punzara*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Juárez, P., Morales, H., Sandoval, M., Gómez, A., Cruz, E., Juárez, C., & Aguirre, J. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *Fuente nueva época*(13), 16-26.

- Loboa, J., Ramírez, S., & Díaz, J. (12 de 2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas. *Eia*, 16.
- Marin, M. C. (2013). *Control climático en invernaderos*. Santo domingo, Republica Dominicana: Marin Pons & Asociados.
- Maruplast. (15 de 08 de 2019). Obtenido de <https://maruplast.com/bandeja-forraje/>
- Meza, Z. (2005). *Evaluacion de variedades de maiz y densidad de siembra en la produccion del forraje verde hidropónico*. Nuevo Leon.
- Nolasco, D., & Ramirez, A. (2011). *Diseño de la automatización del sistema de riego en la escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad zacatenco*. Mexico, D.F.
- Orellana, E. (2015). *Evaluacion de tres niveles de fertilizacion en forraje verde hidropónico en cebada (hordeum vulgare)*. Cuenca.
- Perez, H. (2012). *Diseño de experimentos*. Mexico: Anahuac, Open, Universia.
- Ramirez, I. (2018). *Diseño y caracterización de micro aspersores artesanales para riego en horticultura, en el centro de investigación y experimentación cañasbamba – unasam”*. Huaraz.
- Rios , J., Torres, M., Castro, R., Torres, M., & Ruiz, J. (2015). Determinacion de la huella hidrica en los cultivos forrajeros. *Facultad de Ciencias Agrarias*. Recuperado el 27 de 10 de 2019, de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7472/fca-47-1-007-rios-flores.pdf
- Rodriguez, A. (2003). *Red hidropónica*. Lima: Universiad Nacional Agraria la Molina.
- Romero M, Cordova G, & Hernandez E. (2009). *Forraje hidropónico y su aceptacion en el ganado lechero*. Acta universitaria 19(2), 11-19.
- Romero, J. (2011). *Evaluación de las algas marinas (sargassum spp.) Como sustrato en la producción de forraje verde hidropónico de maiz (zea mays l.)*. Guerrero Negro-Mexico.

- Romero, J. (2016). *Estudio comparativo de cinco especies de gramíneas en la producción de forraje verde hidropónico bajo invernadero en la localidad de huaraz a 3070 m.s.n.m.* Huaraz: UNASAM.
- Rosario, R. (2018). “*Efecto de cinco densidades de siembra de cebada (hordeum vulgare l.) en y sin asociación con arveja (pisum sativum l.) Para producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero de huaraz ancash*”. Huaraz.
- Sanchez, E. (2013). “*Producción de forraje verde hidropónico de trigo y cebada, en diferentes épocas de cosecha en la quinta experimental punzara*”. Loja-Ecuador.
- Sinaloa. (2006). *Produccion de hortalizas bajo invernadero.*
- Takaezu, D. (2017). *Diseño para la implementacion de un sistema de riego tecnificado en el campamento villa cuajone, southern peru copper corporation, moquegua, peru.* Universidad nacional agraria, Lima - Peru .
- Vaca, J. C. (24 de 03 de 2016). *Pasto siempre: por sistema hidroponico, sin depender del clima.* Recuperado el 03 de 06 de 2018, de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/44-pasto_siempre.pdf.
- Valverde, J. (2007). *Riego y drenaje.* Universidad estatal a distancia. San José, San Jose-Costa Rica.
- Vasquez, V. (2013). *Experimentacion agricola - soluciones con sas.* Cajamarca: concytec.
- Villavicencio, A., & Villablanca, A. (2010). Determinacion del coeficiente de uniformidad de riego. *Inia-Ururi*, Chile.
- Zangal, M., Salgado, E., Peña B, & Carrillo F. (2016). *Hydroponics maiza greenn forage produccion with watering every 24 hours.* Abanico veterinario,6(1), 29-34.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la Densidad de siembra en las bandejas



Dimensiones de la bandeja:

Largo: 0.55 m
Ancho: 0.28 m

Area: **0.154 m²**

Densidad de siembra:

Para el caso del forraje verde hidropónico una buena densidad de siembra varía de 2.2 a 3.4 Kg/m² considerando que la disposición de las semillas no debe superar 1.5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2002).

Se utilizo en nuestro caso 3.4 Kg/ m², bajo este criterio tenemos que:

Para:

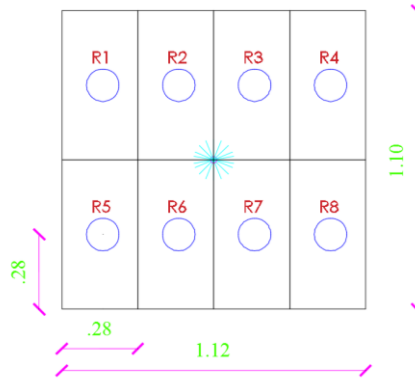
1	m ²	_____	3.4	Kg
0.154	m ²	_____	X	Kg

X = **0.5** Kg

Bandejas utilizadas: 108

Cantidad de semillas utilizadas en total (kg) = **54 Kg**

Anexo 2. Determinación del Coeficiente de uniformidad



Para este realizar este proceso se realizó un marco cuadrangular con un aspersor y se utilizaron 8 recolectores de 12 cm de diámetro y 6 cm alto. Se realizó el aforo en un tiempo de 5 minutos y posterior mente se midió con una probeta el agua de cada uno de los recolectores (Ver panel fotográfico), obteniendo los siguientes resultados. Y estos resultados se ordenaron de mayor a menor. Tal como se aprecia:

Lectura (ml)		se ordena de mayor a menor	
Recolector 1	24	28	
Recolector 2	27	28	
Recolector 3	28	27	
Recolector 4	23	27	
Recolector 5	24	25	
Recolector 6	27	24	
Recolector 7	28	24	Promedio de los dos menores caudales
Recolector 8	25	23	
Promedio general =		25.75	23.5

Posterior mente se remplazó en la fórmula propuesta por Pizarro (1996)

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a} = \frac{23.5}{25.75} \times 100 = 91.26\%$$

Comparando con la tabla N°4, podemos decir que el coeficiente de uniformidad determinado es excelente.

Anexo 3. Análisis del agua de riego.



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUAS

SOLICITANTE : Sotelo Toledo José Miguel - Tesista
FUENTE : M -01 – Río Seco (agua potable)
UBICACIÓN : Huaraz – Huaraz - Ancash

Nº MUESTRA		370
TIPO		Riego
pH		6.09
C.E.	dS/m	0.14
Calcio	me/l	1.15
Magnesio	me/l	0.40
Potasio	me/l	0.06
Sodio	me/l	0.01
SUMA DE CATIONES		1.62
Nitratos	me/l	ND
Carbonatos	me/l	0.00
Bicarbonatos	me/l	0.00
Sulfatos	me/l	0.04
Cloruros	me/l	0.76
SUMA DE ANIONES		0.80
Sodio	%	0.62
RAS		0.01
Boro	ppm	N.D
Clasificación		C ₁ S ₁

- N.D. (NO DETERMINADO)

CONCLUSIONES: La muestra se caracteriza por tener una reacción ligeramente ácida, se encuentra ubicado en la clase (C₁ y S₁), (ver tabla de Interpretación).

Huaraz, 16 de Agosto del 2019

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS

Anexo 4. Interpretación de calidad de agua de riego



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



INTERPRETACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RIEGO

La salinidad total es determinada por la dedición de la conductividad del agua (C.E). expresado en unidades de deci Siemens por metro (dS/m) o micro siemens por cm (uS/cm), también puede ser expresado como la cantidad total de sales disueltas (TDS), donde; TDS (ppm o mg/l) = 640*C.E (en dS/m o uS/cm).

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO BASADO EN SU C.E Y TDS

Peligro de Salinidad	Características	CE. dS/m	TDS ppm
Bajo (C1)	Bajo peligro de salinidad, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y los suelos	< 0.25	> 160
Medio (C2)	Plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales; moderado lixiviación previene la acumulación de sales en el suelo.	0.25 – 0.75	160 -500
Alto (C3)	Salinidad afectará muchas plantas, requiere: selección de plantas tolerantes a salinidad, buen drenaje y lixiviación.	0.75 – 2.25	500 – 1500
Muy alto (C4)	Generalmente no aceptable, excepto para las plantas muy tolerantes a sales, requiere excelente drenaje y lixiviación.	> 2.25	>1500

SAR (Relación Adsorción de Sodio: Na en meq/l o $Ca + Mg$ en meqL-1)/2)^{1/2}/(1/2) Peligro de sodio basado en el valor de SAR

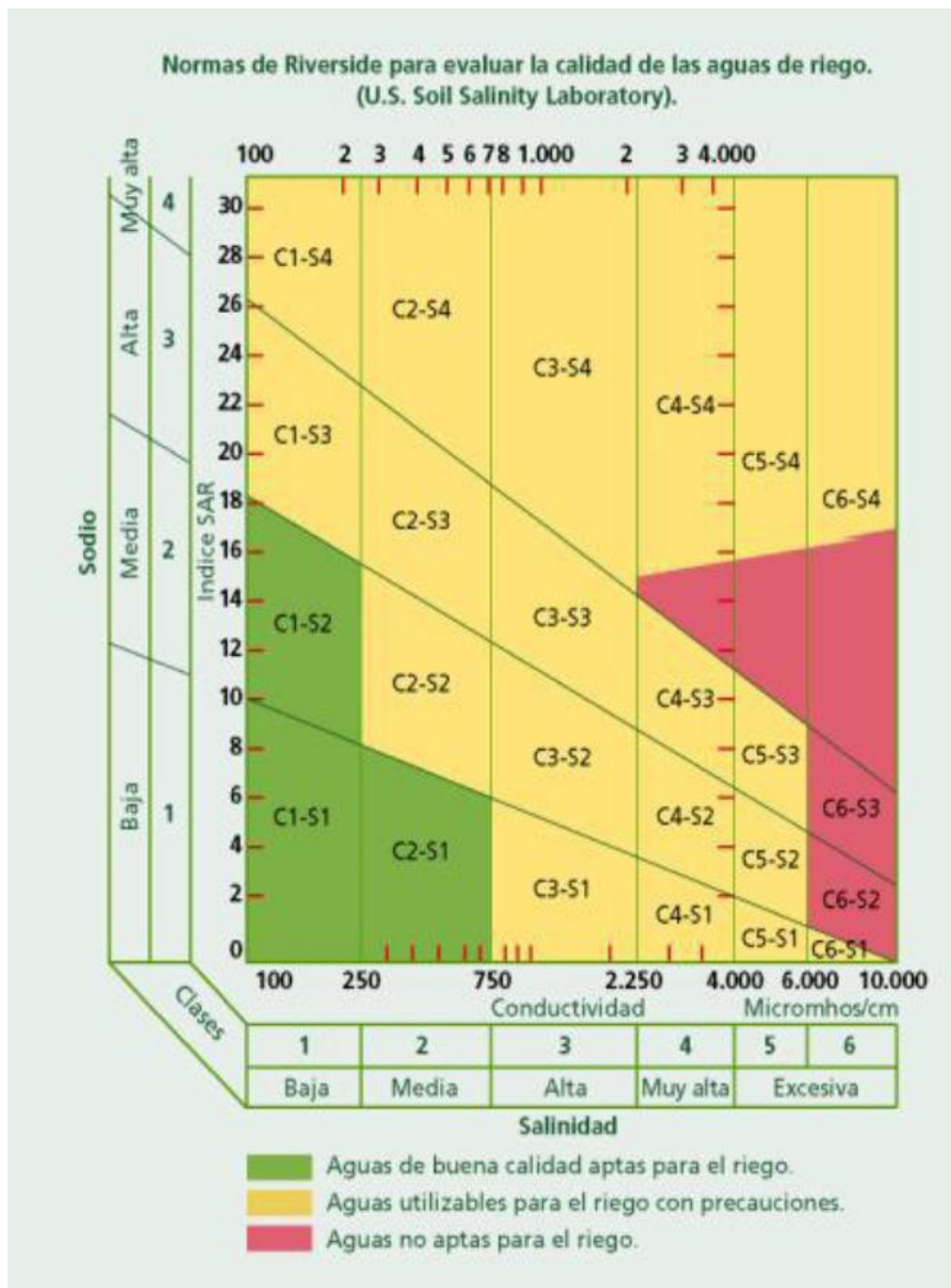
Peligro de Na	RAS del Agua	Comentarios sobre el Peligro de Na
Bajo (S1)	< 10	Puede usar para el riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción de la estructura.
Medio (S2)	10 – 18	Puede desmejorarse la permeabilidad de suelos de textura fina con alto CIC. Puede usarse en suelos de textura grueso con buen drenaje.
Alto (S3)	18 -26	Se produce daños de los suelos, por acumulación de Na se requerirá intensivas prácticas de aplicación de enmiendas, drenaje y lixiviación.
Muy alto (S4)	> 26	Generalmente no recomendable para el riego excepto en suelos de muy bajo contenido de sales. Se requerirá prácticas de manejo.

Carbonato de Sodio residual (RCS), tercer criterio que se usa para juzgar el peligro de Sodio en las aguas de riego. Es definido como RCS.....

Peligro de Sodio basado en el valor del RCS

Valores del RCS (meq/L)	Peligro de Sodio (Na)
> 0 (Valores negativos)	Ninguno. Ca y Mg del agua no participaran como Carbonatos, ellos se mantienen activos para prevenir la acumulación de Na en los sitios de cambio de la CIC.
0 – 1.25	Bajo. Existe alguna remoción de Ca y Mg del agua de riego
1.25 – 2.50	Medio. Apreciable remoción de Ca y Mg del agua de riego
> 2.50	Alto. Todo o mayor parte de Ca y Mg del agua de riego es removido como carbonato precipitado produciendo acumulación de Na.

Anexo 5. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory). Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)



Anexo 6. Catalogo del Microaspersor

MICROASPERORES



Especialmente indicados para el riego de cultivos agrícolas (frutales, hortalizas), invernaderos, jardinería, etc.

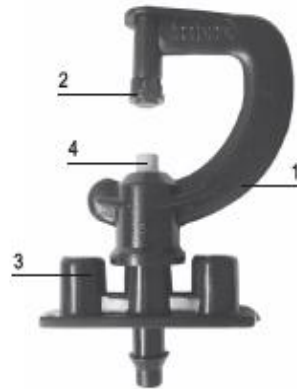
Descripción

- ▶ Componentes desmontables e intercambiables.
- ▶ Aptos para trabajar con agroquímicos en las proporciones habituales en los cultivos.
- ▶ Uniformidad de riego y gran cobertura.
- ▶ Base con toma para estaca de 4'5 mm. Conexión dentada para tubería de PE ó roscada para PVC.
- ▶ Boquillas con amplia gama de caudales codificados por colores.



Rango de caudales (l/h)

Presión (Atm)	1'0	1'5	2'0	2'5	3'0
MARRÓN	24	31	34	37	40
VIOLETA	36	45	52	56	64
GRIS	48	60	70	79	86
VERDE	71	88	104	117	129
NEGRA	90	110	130	146	160
AZUL	120	150	175	200	220
ROJA	137	174	203	226	250
MARFIL	170	213	250	280	300



1. Puente
2. Difusor
3. Base
4. Boquilla
5. Ballarina

Plantillas de distribución



Tabla de diámetros efectivos

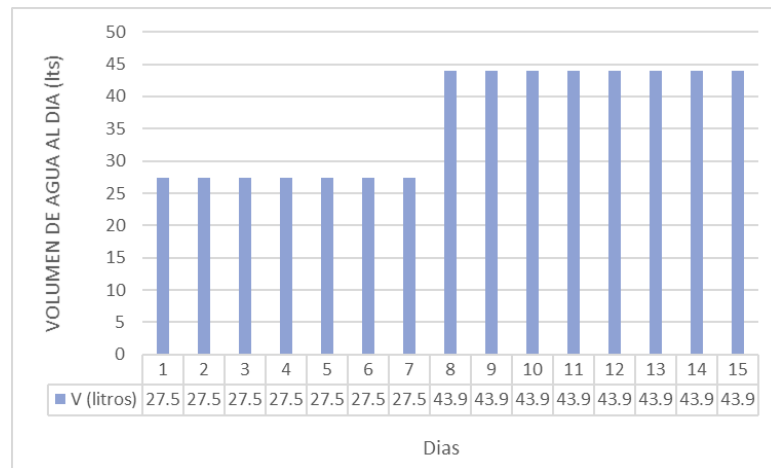
Tabla de diámetro efectivo de riego (m)											
Boquilla	Presión Atm.	Caudal L/h	Bañarinas			Difusores					
			Negra	Gris	Anti-insectos	Azul	Rojo	Amarillo	Marrón	Naranja	Violeta
Marrón 0'80 mm.	1'00	24	5'00	-	3'50	3'00	2'00	3'00	1'50	2'00	1'50
	1'50	31	5'00	-	4'00	3'00	2'50	2'00	2'00	2'00	2'00
	2'00	34	5'00	-	4'50	3'50	3'00	2'00	2'00	2'00	1'50
	2'50	37	-	-	-	4'00	3'00	2'00	2'00	1'50	1'50
Violeta 1'00 mm.	1'00	36	5'50	-	4'50	3'50	3'50	2'00	1'50	1'50	3'00
	1'50	45	5'50	-	5'00	4'00	3'50	2'50	1'00	1'50	3'00
	2'00	52	6'00	-	5'00	4'50	3'50	2'50	1'00	1'50	2'50
	2'50	56	-	-	-	4'50	4'00	2'50	1'00	1'50	2'50
Gris 1'15 mm.	1'00	48	6'00	-	4'50	3'00	4'50	2'50	1'00	1'50	2'50
	1'50	60	6'00	8'50	5'00	4'00	5'00	2'50	1'00	1'50	2'50
	2'00	70	6'50	9'00	5'50	4'50	4'50	3'00	1'00	1'50	2'50
	2'50	79	-	9'00	-	4'50	5'00	3'50	1'00	1'50	2'50
Verde 1'40 mm.	1'00	71	6'50	-	5'00	4'50	5'00	3'00	0'50	1'50	2'00
	1'50	88	7'00	8'50	6'00	5'50	5'00	3'00	0'50	1'50	2'50
	2'00	104	7'00	9'00	6'50	6'00	5'00	3'00	0'50	1'50	2'50
	2'50	117	-	9'00	-	6'00	5'50	3'50	0'50	1'50	3'00
Negro 1'60 mm.	1'00	90	6'50	-	5'50	4'50	4'50	3'50	1'00	1'00	2'50
	1'50	110	7'00	9'00	6'50	5'00	4'50	4'00	0'50	1'00	3'00
	2'00	130	7'00	9'00	6'50	5'50	5'00	4'00	0'50	1'00	4'00
	2'50	146	-	9'00	-	5'50	5'50	4'50	0'50	1'00	3'50
Azul 1'90 mm.	1'00	120	6'50	-	5'50	5'00	7'50	4'00	0'50	1'00	2'50
	1'50	150	7'50	9'00	6'50	5'50	7'50	4'00	0'50	1'00	3'00
	2'00	175	8'00	10'00	6'50	6'00	7'50	4'00	0'50	1'00	3'50
	2'50	200	-	10'00	-	6'00	7'50	5'00	0'50	1'00	4'00
Rojo 2'20 mm.	1'00	137	-	-	-	3'00	6'00	3'00	1'00	-	3'00
	1'50	174	-	9'00	-	4'00	7'50	4'00	1'00	-	3'50
	2'00	203	-	10'50	-	4'50	7'50	4'50	1'00	-	4'00
	2'50	226	-	10'00	-	4'50	7'50	5'00	1'00	-	4'50
Marfil 2'40 mm.	1'00	170	-	-	-	4'00	6'50	5'50	1'50	-	4'50
	1'50	213	-	9'00	-	5'00	7'50	7'00	1'50	-	5'00
	2'00	250	-	10'50	-	6'00	7'50	7'50	1'50	-	5'00
	2'50	280	-	10'50	-	6'50	7'5	7'50	1'50	-	5'00

Anexo 7. Consumo de agua durante todo el proceso de producción del FVH

Datos resumen del consumo de agua durante todo el proceso de producción del FVH

N°	Día	N° Emisores	Q (litros/min)	T (min)	V (litros)
1	17/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
2	18/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
3	19/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
4	20/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
5	21/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
6	22/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
7	23/07/2019	18	0.61	2.5	27.45
8	24/07/2019	18	0.61	4	43.92
9	25/07/2019	18	0.61	4	43.92
10	26/07/2019	18	0.61	4	43.92
11	27/07/2019	18	0.61	4	43.92
12	28/07/2019	18	0.61	4	43.92
13	29/07/2019	18	0.61	4	43.92
14	30/07/2019	18	0.61	4	43.92
15	31/07/2019	18	0.61	4	43.92
Total					543.51

Grafico del consumo de agua durante el proceso de producción del FVH

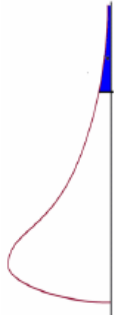


Durante todo el proceso de producción del FVH se utilizaron diariamente 27.45 litros de agua durante los primeros 7 días y 43.92 litros diariamente durante los últimos 8 días, haciendo un total de 543.51 litros aplicados.

Anexo 8. Distribucion normal de Fisher, para $\alpha=0.05$

Distribución F 0.05

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.76	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Para calcular el valor F en excel, se utiliza la función de la distribución F inversa

=distr.f.inv(0.05; gl num; gl den)

© Ing. Jesús Alberto Mellado Bosque

Anexo 9. Datos de la altura de la planta (cm)

FECHA PERIODO		ALTURA DE PLANTA (cm)																								
BLOQUE	Tratamiento	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	Media				
DIA:21/07/2019	Bloque I	Volumen 1	3.5	4.0	3.1	3.1	5.0	4.4	5.0	3.9	5.2	4.9	5.8	4.7	5.1	5.0	5.3	4.9	5.0	4.0	4.0	6.3	4.61			
		Volumen 2	4.5	5.5	5.0	7.5	6.3	5.9	7.5	6.9	5.8	5.4	4.1	6.3	4.8	5.0	5.2	5.3	4.9	6.3	5.7	5.0	5.9	5.64		
		Volumen 3	4.0	5.0	3.8	3.8	4.4	5.0	6.3	7.5	6.3	5.6	6.9	6.3	5.3	5.1	5.5	5.9	5.4	4.5	5.0	5.9	5.9	5.35		
	Bloque II	Volumen 1	4.5	5.3	6.0	4.5	6.9	4.4	5.9	7.5	4.9	5.2	5.7	4.8	5.0	4.1	5.3	5.5	4.5	4.8	3.8	4.6	5.16	5.16		
		Volumen 2	6.5	5.5	6.0	7.0	7.5	5.1	4.4	6.9	6.3	5.6	6.9	6.3	5.7	5.0	5.1	8.1	6.9	7.5	8.8	5.9	6.34	6.34		
		Volumen 3	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	3.8	3.8	4.4	5.0	5.0	5.5	5.0	4.0	4.0	6.3	5.9	5.4	4.4	4.6	4.2	4.48	4.48		
	DIA:21/07/2019	Bloque III	Volumen 1	4.0	3.0	4.5	4.5	4.0	5.0	5.6	6.1	4.1	4.8	6.9	6.4	5.1	6.1	6.0	3.8	5.6	5.4	6.9	6.4	5.21	5.21	
			Volumen 2	6.3	3.1	5.3	4.3	5.9	4.6	3.8	5.0	5.6	3.8	5.7	5.6	5.6	5.7	5.8	6.3	6.5	4.0	6.6	6.3	5.28	5.28	
			Volumen 3	4.1	4.1	4.6	4.9	5.2	3.9	8.1	5.0	5.8	5.7	4.6	6.5	5.0	4.5	6.3	3.2	3.9	3.9	4.9	4.4	4.93	4.93	
DIA:26/07/2019	Bloque I	Volumen 1	9.0	8.5	8.0	10.0	9.5	9.0	10.0	9.5	9.5	8.5	8.0	10.0	9.0	8.5	9.5	10.0	9.5	9.0	10.0	9.5	9.23	9.23		
		Volumen 2	8.0	9.5	9.5	10.0	9.5	11.5	10.0	11.0	10.5	11.0	10.5	10.0	11.0	10.5	11.5	9.5	11.5	10.0	11.0	10.5	10.5	10.33	10.33	
		Volumen 3	9.0	8.5	12.0	11.5	11.0	13.0	12.5	11.0	10.0	12.5	12.0	11.0	12.0	10.5	11.5	11.0	13.0	12.5	11.0	10.0	11.28	11.28		
	DIA:26/07/2019	Bloque II	Volumen 1	9.0	10.0	9.5	9.5	8.0	10.0	9.0	8.5	9.5	9.5	9.5	9.5	8.5	8.0	10.0	9.0	8.5	8.0	10.0	9.5	9.10	9.10	
			Volumen 2	11.5	10.0	11.0	10.5	11.0	8.0	9.5	9.5	10.0	9.5	11.0	10.5	11.0	8.0	9.5	10.5	10.0	11.0	10.5	11.5	10.20	10.20	
			Volumen 3	13.0	12.5	11.0	10.0	12.5	9.0	8.5	12.0	11.5	11.0	12.0	11.0	12.0	10.5	11.5	11.0	10.0	12.5	9.0	8.5	10.95	10.95	
	DIA:26/07/2019	Bloque III	Volumen 1	8.0	10.0	9.0	8.5	9.5	9.0	8.5	8.0	10.0	9.5	10.0	9.0	8.5	9.5	9.0	9.0	10.0	9.5	9.5	8.5	9.13	9.13	
			Volumen 2	10.5	10.0	11.0	10.5	11.5	9.5	10.0	9.5	11.5	10.0	8.0	9.5	9.5	9.5	10.0	9.5	11.5	10.0	11.0	10.5	11.0	10.23	10.23
			Volumen 3	12.0	11.0	12.0	10.5	11.5	13.0	12.5	11.0	10.0	12.5	9.0	8.5	12.0	11.5	11.0	11.5	13.0	12.5	11.0	10.0	11.30	11.30	
DIA:31/07/2019	Bloque I	Volumen 1	13.5	12.0	12.5	14.5	13.0	15.5	14.5	14.0	14.0	15.5	13.0	13.5	15.0	15.5	14.5	14.0	14.0	15.5	15.0	14.5	14.18	14.18		
		Volumen 2	14.5	13.0	13.5	13.0	14.5	14.5	15.5	14.5	14.0	15.0	14.5	15.0	15.5	14.5	15.5	13.5	14.5	14.0	15.0	15.0	14.45	14.45		
		Volumen 3	15.5	17.0	16.5	16.0	17.0	15.0	17.5	17.0	17.5	17.0	16.5	17.0	16.5	17.0	16.5	15.0	17.5	17.0	17.5	17.0	16.68	16.68		
	DIA:31/07/2019	Bloque II	Volumen 1	13.0	13.5	15.0	15.5	14.5	13.5	12.0	12.5	14.5	13.0	14.0	14.0	15.5	15.0	14.5	13.5	15.0	15.5	14.5	13.5	14.10	14.10	
			Volumen 2	14.5	15.0	15.5	14.5	15.5	14.5	13.0	13.5	13.0	14.5	13.5	14.5	14.0	15.0	15.0	14.5	13.0	13.5	15.0	15.5	14.35	14.35	
			Volumen 3	16.5	17.0	16.5	17.0	16.5	15.5	17.0	16.5	16.0	17.0	15.0	17.5	17.0	17.5	17.0	16.5	17.0	16.5	15.5	17.0	16.60	16.60	
	DIA:31/07/2019	Bloque III	Volumen 1	14.0	14.0	15.5	15.0	14.5	12.5	14.5	13.0	13.0	13.5	13.5	12.0	12.5	14.5	13.0	13.0	13.5	15.0	15.5	14.5	13.83	13.83	
			Volumen 2	13.5	14.5	14.0	15.0	15.0	13.0	14.5	14.5	15.0	15.5	14.5	13.0	13.5	13.0	14.5	14.5	15.0	15.5	14.5	15.5	14.40	14.40	
			Volumen 3	15.0	17.5	17.0	17.5	17.0	16.5	16.0	17.0	16.5	17.0	15.5	17.0	15.5	17.0	16.5	16.0	17.0	16.5	17.0	16.5	16.63	16.63	

Anexo 10. Cuadro ANVA de la altura del Forraje a los 5, 10 y 15 días

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	4.61	5.16	5.21	14.98	4.99
Vol 2	5.64	6.34	5.28	17.26	5.75
Vol 3	5.35	4.48	4.93	14.76	4.92
Total	15.60	15.97	15.43	47.00	5.22
Promedio	5.20	5.32	5.14	15.67	5.22

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	9.23	9.10	9.13	27.45	9.15
Vol 2	10.33	10.20	10.23	30.75	10.25
Vol 3	11.28	10.95	11.30	33.53	11.18
Total	30.83	30.25	30.65	91.73	10.19
Promedio	17.48	17.13	17.39	52.00	10.19

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	14.18	14.10	13.83	42.10	14.03
Vol 2	14.45	14.35	14.40	43.20	14.40
Vol 3	16.68	16.60	16.63	49.90	16.63
Total	45.30	45.05	44.85	135.20	15.02
Promedio	25.48	25.33	25.29	76.10	15.02

Anexo 11. Cuadro DUNCAN de la altura del Forraje a los 5, 10 y 15 días

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					0.3
Error Estandar (S_x)					0.31
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		1.003	1.043	1.068	1.083
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 2	5.75	3	a	4.71
2°	Vol 1	4.99	3	a	3.99
3°	Vol 3	4.92	3	a	

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					0.0090
Error Estandar (S_x)					0.0546
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		0.178	0.185	0.190	0.192
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 3	11.18	3	a	10.99
2°	Vol 2	10.25	3	b	10.07
3°	Vol 1	9.15	3	c	

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					0.010
Error Estandar (S_x)					0.059
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		0.193	0.200	0.205	0.208
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 3	16.63	3	a	16.43
2°	Vol 2	14.40	3	b	14.21
3°	Vol 1	14.03	3	c	

Anexo 12. Rendimiento a la cosecha

RENDIMIENTO A LA COSECHA							
TRATAMIENTO	BLOQUE	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	g/Bandeja	Kg/m ²
Volumen 1	Bloque I	869	1080	966	807	930.5	6.04
	Bloque II	1335	2806	1307	1906	1838.5	11.94
	Bloque III	1534	2499	2660	2000	2173.25	14.11
Volumen 2	Bloque I	1345	1762	2348	1645	1775	11.53
	Bloque II	2925	2932	2682	2900	2859.75	18.57
	Bloque III	2312	2460	2344	2233	2337.25	15.18
Volumen 3	Bloque I	2610	2567	1592	2166	2233.75	14.50
	Bloque II	2745	3221	2759	2659	2846	18.48
	Bloque III	2734	2519	2902	2801	2739	17.79

Anexo 13. Rendimiento TCO

RENDIMIENTO TCO (24 horas de oro tras la cosecha)								
TRATAMIENTO	BLOQUE	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	g/Bandeja	Kg/m ²	TCO/Semilla
Volumen 1	Bloque I	750	955	834	701	810	5.26	1.62
	Bloque II	1233	2650	1221	1769	1718.25	11.16	3.44
	Bloque III	1413	2279	2437	1821	1987.5	12.91	3.98
Volumen 2	Bloque I	1222	1580	2094	1459	1588.75	10.32	3.18
	Bloque II	2716	2763	2450	2649	2644.5	17.17	5.29
	Bloque III	2119	2235	2056	2027	2109.25	13.70	4.22
Volumen 3	Bloque I	2354	2195	1421	1907	1969.25	12.79	3.94
	Bloque II	2515	3000	2439	2483	2609.25	16.94	5.22
	Bloque III	2397	2274	2541	2489	2425.25	15.75	4.85

Anexo 14. Cuadro ANVA para los Rendimientos a la cosecha, TCO e índice de conversión

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	6.04	11.94	14.11	32.09	10.70
Vol 2	11.53	18.57	15.18	45.27	15.09
Vol 3	14.50	18.48	17.79	50.77	16.92
Total	32.07	48.99	47.07	128.14	14.24
Promedio	10.69	16.33	15.69	42.71	14.24

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	5.26	11.16	12.91	29.32	9.77
Vol 2	10.32	17.17	13.70	41.19	13.73
Vol 3	12.79	16.94	15.75	45.48	15.16
Total	28.36	45.27	42.35	115.99	12.89
Promedio	9.45	15.09	14.12	38.66	12.89

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	1.62	3.44	3.98	9.03	3.01
Vol 2	3.18	5.29	4.22	12.69	4.23
Vol 3	3.94	5.22	4.85	14.01	4.67
Total	8.74	13.94	13.04	35.72	3.97
Promedio	5.28	8.15	7.37	20.81	3.97

Anexo 15. Cuadro DUNCAN de los tratamientos (Rendimientos)

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					2.9
Error Estandar (S_x)					0.98
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		3.192	3.319	3.397	3.446
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 3	16.92	3	a	13.60
2°	Vol 2	15.09	3	a	11.90
3°	Vol 1	10.70	3	b	

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					2.6
Error Estandar (S_x)					0.93
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		3.021	3.141	3.215	3.262
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 3	15.16	3	a	12.02
2°	Vol 2	13.73	3	a	10.71
3°	Vol 1	9.77	3	b	

DUNCAN TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					0.244
Error Estandar (S_x)					0.285
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		0.930	0.967	0.990	1.005
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 3	4.67	3	a	3.70
2°	Vol 2	4.23	3	a	3.30
3°	Vol 1	3.01	3	b	

Anexo 16. Cuadro de DUNCAN de los bloques (Rendimientos)

DUNCAN BLOQUES					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					2.9
Error Estandar (S_x)					0.98
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		3.192	3.319	3.397	3.446
Orden	Bloque	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	II	16.33	3	a	13.01
2°	III	15.69	3	a	12.50
3°	I	10.69	3	b	

DUNCAN BLOQUES					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					2.6
Error Estandar (S_x)					0.93
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		3.021	3.141	3.215	3.262
Orden	Bloque	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	II	15.09	3	a	11.95
2°	III	14.12	3	a	11.10
3°	I	9.45	3	b	

DUNCAN BLOQUES					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					0
Cuadrado medio del error					0.0
Error Estandar (S_x)					0.00
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		0.930	0.967	0.990	1.005
Orden	Bloque	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	II	8.15	3	a	7.18
2°	III	7.37	3	a	6.44
3°	I	5.28	3	b	

Anexo 17. Cuadro de datos de Materia Seca

Volumen 1					Volumen 2					Volumen 3				
Bloque	Muestras	Wi (gr)	Wf(gr)	MS (%)	Bloque	Muestras	Wi (gr)	Wf(gr)	MS (%)	Bloque	Muestras	Wi (gr)	Wf(gr)	MS (%)
BI	M1	64	14	0.21875	BI	M1	62	11	0.18	BI	M1	36	5	0.139
	M2	71	19	0.267606		M2	80	19	0.24		M2	38	5	0.132
	M3	54	23	0.425926		M3	82	18	0.22		M3	70	7	0.100
	M4	94	14	0.148936		M4	59	18	0.31		M4	39	6	0.154
BII	M1	80	18	0.225	BII	M1	114	10	0.09	BII	M1	77	8	0.104
	M2	75	20	0.266667		M2	92	9	0.10		M2	44	7	0.159
	M3	77	12	0.155844		M3	90	11	0.12		M3	54	5	0.093
	M4	64	18	0.28125		M4	79	6	0.08		M4	44	15	0.341
BIII	M1	53	5	0.09434	BIII	M1	70	9	0.13	BIII	M1	56	3	0.054
	M2	89	6	0.067416		M2	68	8	0.12		M2	52	2	0.038
	M3	102	5	0.04902		M3	65	8	0.12		M3	67	5	0.075
	M4	74	4	0.054054		M4	54	6	0.11		M4	78	3	0.038

Anexo 18. Cuadro ANVA para Materia Seca

Variable	Bloque			Total	Promedio
	I	II	III		
Vol 1	26.5%	23.2%	6.6%	56.4%	18.8%
Vol 2	23.5%	9.6%	12.0%	45.1%	15.0%
Vol 3	13.1%	17.4%	5.1%	35.6%	11.9%
Total	63.1%	50.2%	23.8%	137.1%	15.23%
Promedio	21.04%	16.74%	7.92%	45.70%	15.23%

Anexo 19. Cuadro DUNCAN para Materia Seca

DUNCAN PARA TRATAMIENTOS					
Prueba del rango múltiple de Duncan para Y					
Alfa					0.05
Grados de libertad del error					4
Cuadrado medio del error					0.0037
Error Estandar (S _x)					0.04
N° de medias		2	3	4	5
Amplitud Estudentizada Tabulada		3.26	3.39	3.47	3.52
Rango crítico validado		0.114	0.119	0.121	0.123
Orden	Tratamiento	Media	N° Datos	Agrupamiento	
1°	Vol 1	18.8%	3	a	7%
2°	Vol 2	15.0%	3	a	4%
3°	Vol 3	11.9%	3	a	

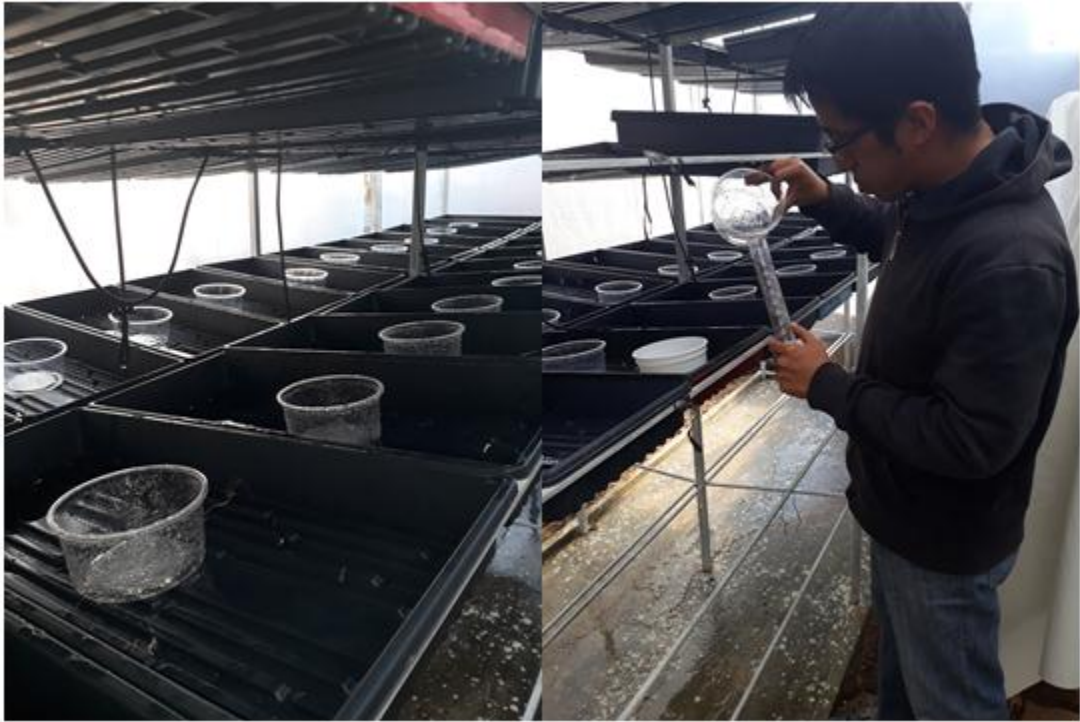
Anexo 20. Panel fotográfico del proceso de ejecución.



Fotografías N°01: Instalación del sistema de microriego y de las bandejas para el sembrado



Fotografías N°02: Pruebas de campo con el programador de riego



Fotografías N°03: Prueba en campo para el coeficiente de uniformidad



Fotografías N°04: Lavado, desinfección y remojo de la semilla



Fotografías N°05: Proceso de oreado de las semillas



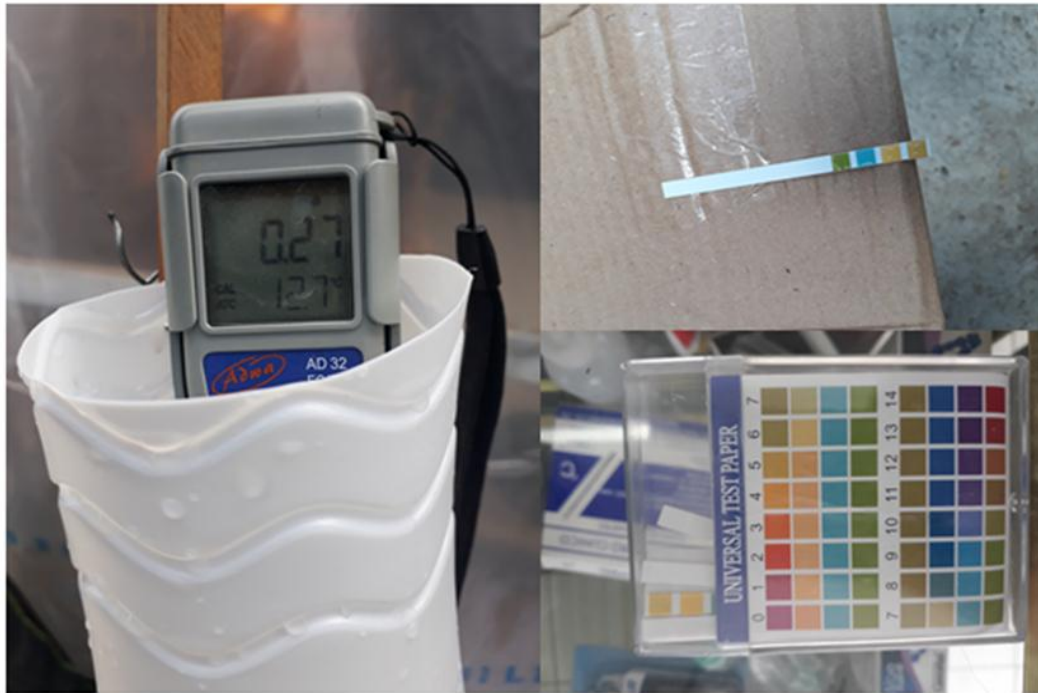
Fotografías N°06: Proceso de pesado de las semillas, para la siembra en las bandejas



Fotografías N°07: Crecimiento del forraje en la cámara oscura durante los primeros 4 días



Fotografías N°08: Preparación de solución nutritivas A y B, para el desarrollo del forraje al 5 día



Fotografías N°09: Control de la conductividad eléctrica y el pH del agua de riego con solución nutritiva.



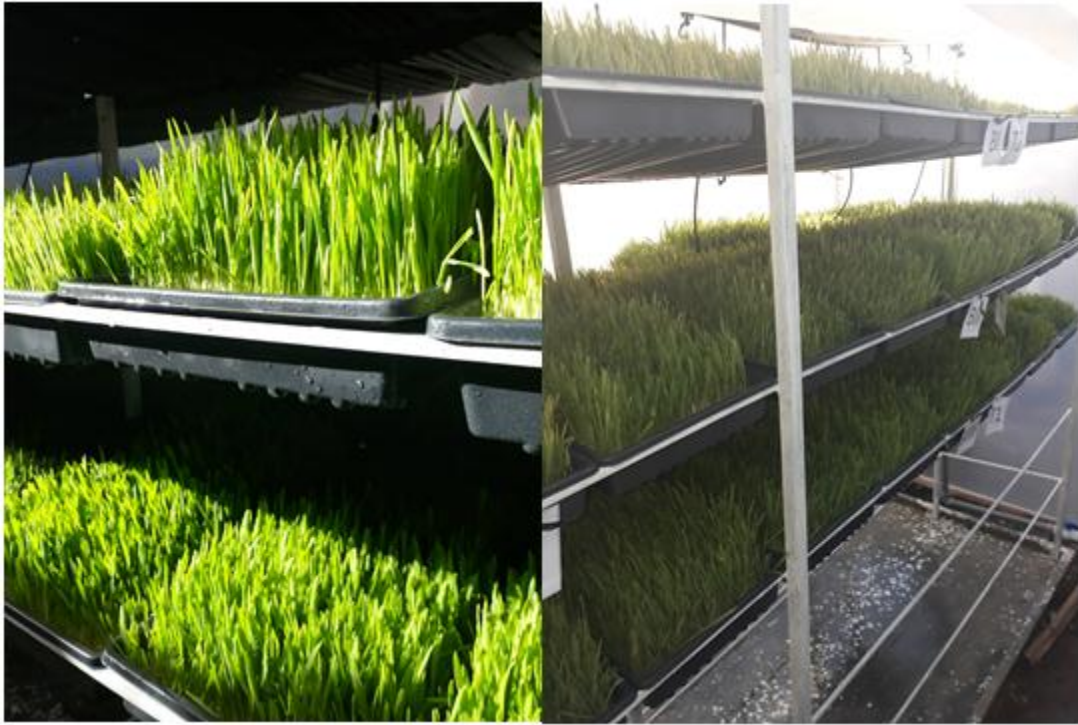
Fotografías N°10: Visita y asesoría por parte del patrocinador



Fotografías N°11: Crecimiento del forraje en la fase luminosa en los primeros días



Fotografías N°12: Visita y supervisión por parte del jurado.



Fotografías N°13: Culminación del proceso, transcurrido los 15 días.



Fotografías N°14: Peso de las bandejas con el forraje para obtener (TCO)



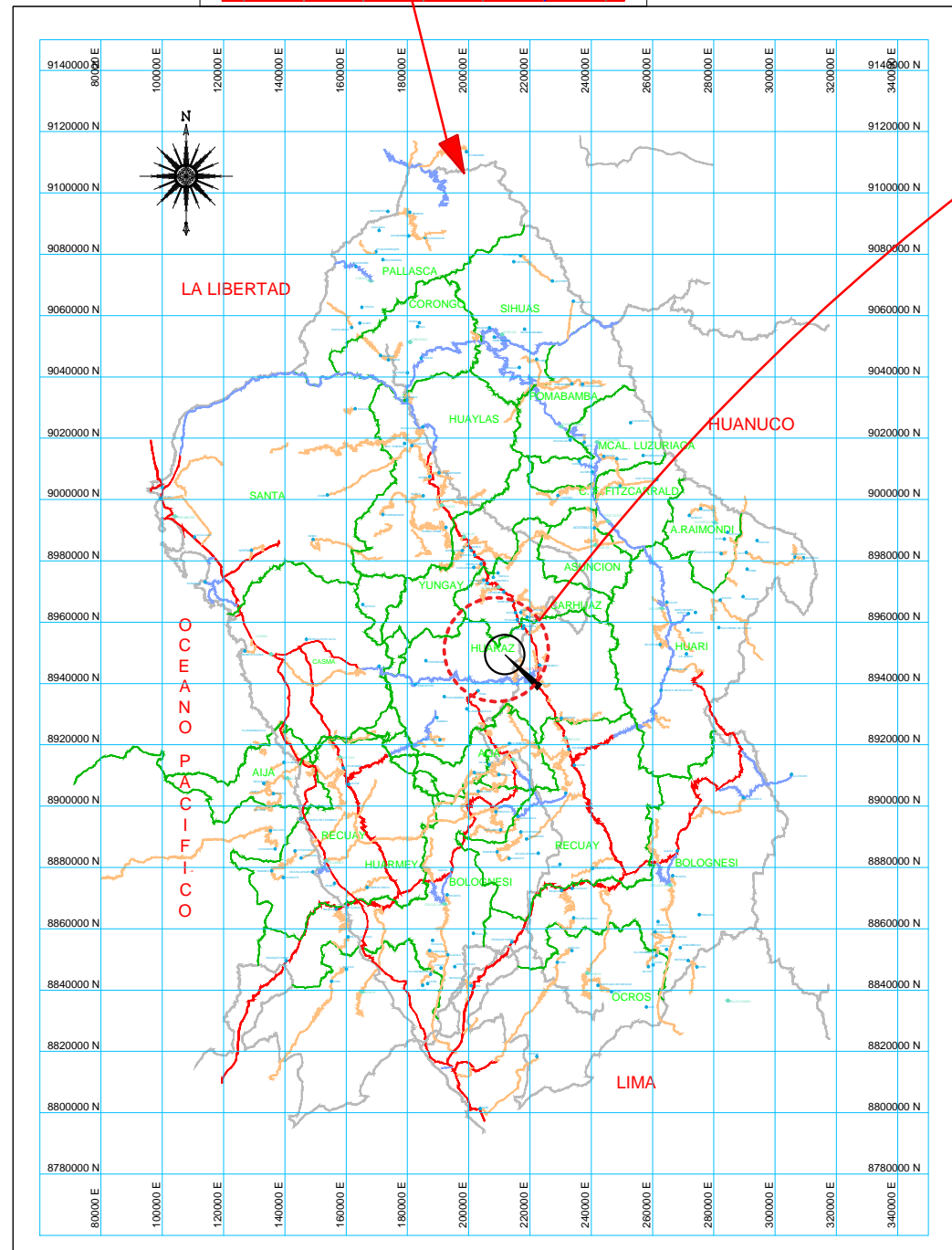
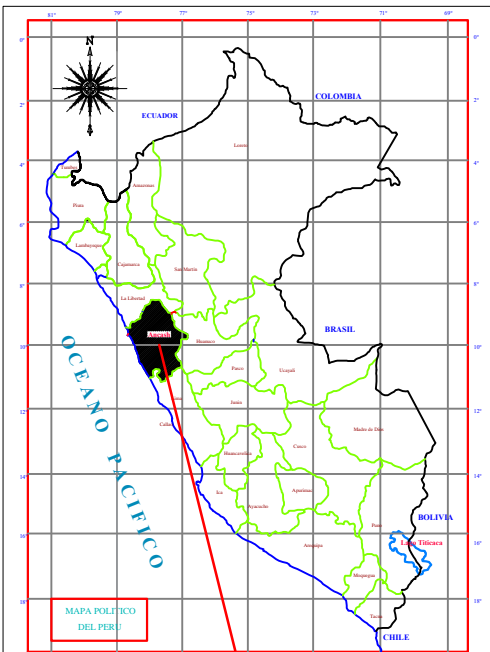
Fotografías N°15: Proceso de tomado de muestras para el laboratorio



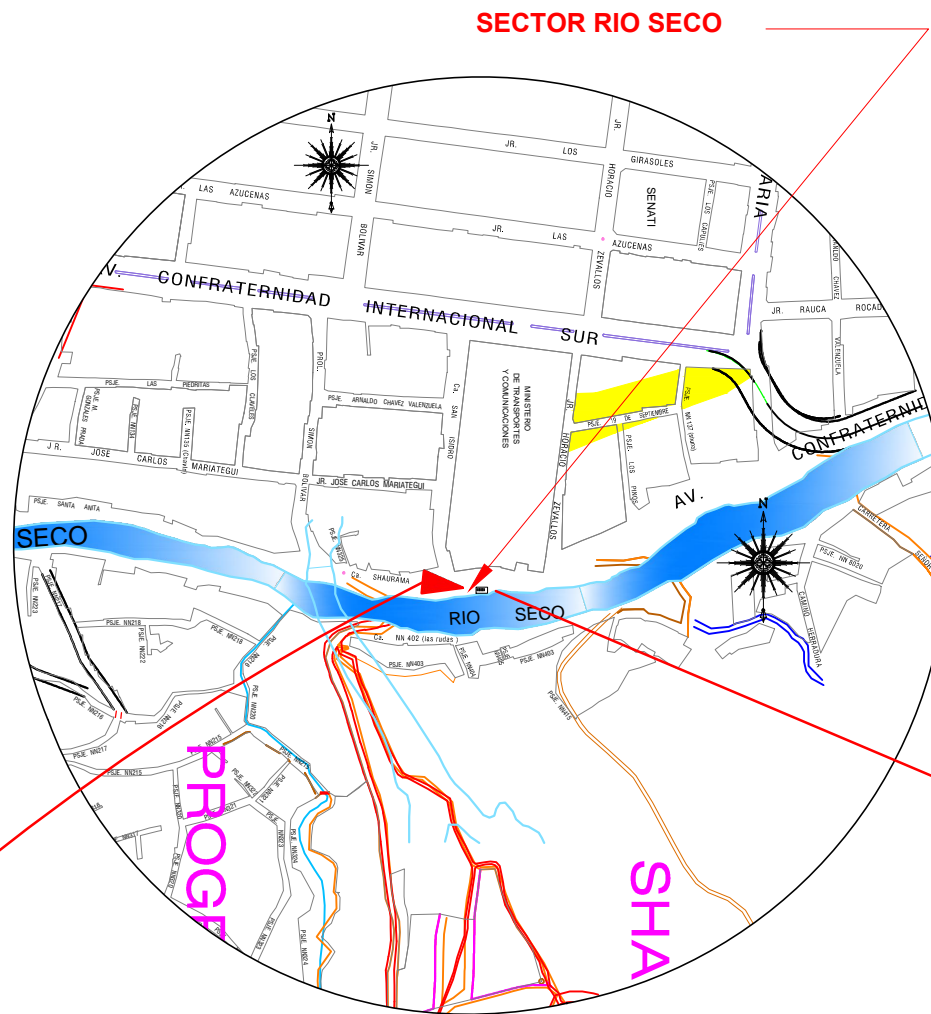
Fotografías N°16: Muestras llevados al laboratorio, para su secado y posterior análisis.

Anexo 21. Plano de ubicación

Anexo 22. Plano del Sistema de microriego para la producción del FVH



PLANO DE UBICACION - ANCASH
ESC.: 1/2'000,000



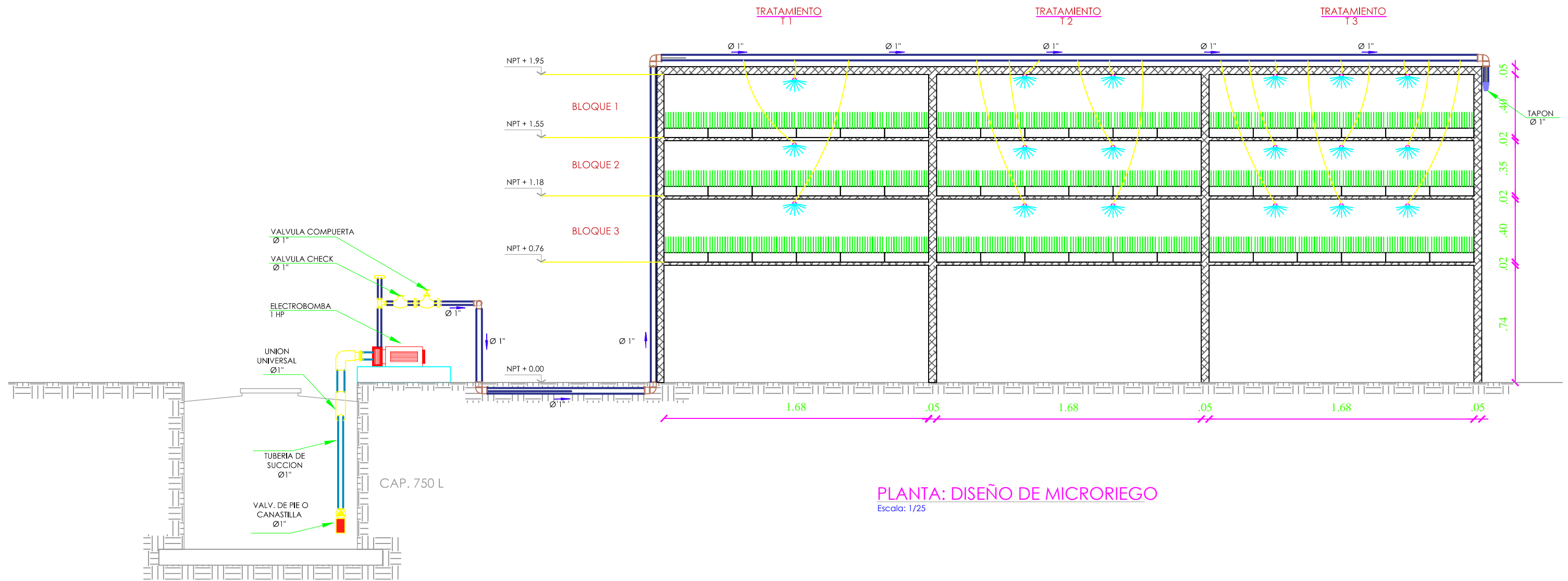
UBICACION DE PROYECTO
ESC.: 1/7500



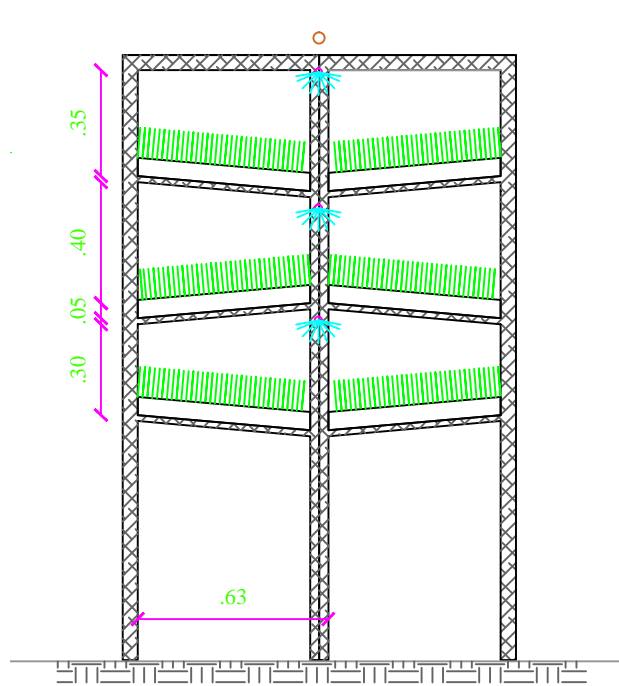
LEYENDA	
Nacional	Código 001N
Departamental	100
Vecinal	500
Signos Convencionales	
Superficie de Rodadura	
Asfaltado	Trocha Carrozzable
Afirmado	En Proyecto
Sin Afirmar	
Capital Departamental	Caleta
Capital Provincial	Embarcadero
Capital Distrital	Puerto Fluvial
Pueblo	Muelle
Puente	Acc. Geográficos
Pontón	Abra
Tunel	Mina
Badén	Planta Eléctrica
Aeropuerto	Otros
Aeródromo	Planta
Límite Departamental	Puerto
Límite Distrital	Río



PROYECTO: “RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (Hordeum vulgare L) CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO, APLICANDO TRES VOLUMENES DE RIEGO POR MICROASPERION, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ-2019 ”	
ESPECIALIDAD: INGENIERIA AGRICOLA- CIENCIAS AGRARIAS	ESCALA: INDICADA
PLANO DE: PLANO DE UBICACION	
DEPARTAMENTO: ANCASH	DISTRITO: HUARAZ
PROVINCIA: HUARAZ	DIBUJO: J.M.S.T
FECHA: SETIEMBRE- 2019	
PU-01	



PLANTA: DISEÑO DE MICRORIEGO
Escala: 1/25



CORTE: DISEÑO DE MICRORIEGO
Escala: 1/25



Descripción

- ▶ Componentes desmontables e intercambiables.
- ▶ Aptos para trabajar con agroquímicos en las proporciones habituales en los cultivos.
- ▶ Uniformidad de riego y gran cobertura.
- ▶ Base con toma para estaca de 4'5 mm. Conexión dentada para tubería de PE ó roscada para PVC.
- ▶ Boquillas con amplia gama de caudales codificados por colores.



Bandeja para Forraje

Bandeja para forraje fabricado en poliestireno de alto impacto, ideal para la producción de forraje verde Hidropónico.

La bandeja dispone un sistema de drenaje que mejora el germinado de la semilla.

Medida (cm)Bandeja	Altura (cm)Bandeja	Color	Peso x Bandeja
55 X 28	6.0	Negro	250 gr

LEYENDA INSTALACIONES DE RIEGO

ELECTROBOMBA 0.5HP	
CANASTILLA PVC 1"	
UNION UNIVERSAL PVC 1"	
TUB. IMPULSION PVC 3/4"	
TUB. SUCCION PVC 1"	
MICROTUBO 8 mm	
TEE DE 90° 3/4"	
CODO DE 90° 3/4"	
CODO DE 90° 1"	
VALVULA DE COMPUERTA 3/4"	
VALVULA DE CHECK 3/4"	
SENTIDO DE FLUJO	
MICROASPELADOR DE RIEGO	

ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES

- 1) LAS TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA AGUA DE RIEGO SERÁN DE PVC CL-10
- 2) LA ELECTROBOMBA SERA DE 1.0 HP DE POTENCIA
- 3) LOS MIRCROASPELADORES DE ANGULO DE 360°, SERAN DE PVC Y TRABAJARAN A UN CAUDAL ENTRE 24 - 37 L/Hr A UNA PRESION DE 1.0 A 2.5 ATM
- 4) LOS MICROTUBOS SON DE POLIETILENO DE MAXIMA CALIDAD, ADECUADO PARA LA INSTALACION DE GOTEROS EN MACETAS, HUERTOS, INVERNADEROS, JARDIN, FINCAS ETC.
- 5) LAS BANDEJAS FORRAJERAS SON DE MATERIAL PLASTICO COLOR NEGRO DE DIMENSIONES 28x55x6 cm Y TENDRAN UN PESO DE 250 GRAMOS
- 6) LOS ESTANTES PARA EL SOPORTE DEL FORRAJE VERDE SON DE FIERRO
- 7) LA CISTERNA DE AGUA SERA DE 750L DE CAPACIDAD Y ESTARA ENTERRADA



PROYECTO:
"RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (Hordeum vulgare L) CULTIVAR VARIEDAD CENTENARIO, APLICANDO TRES VOLUMENES DE RIEGO POR MICROSPERSION, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUARAZ-2019 "

ESPECIALIDAD: INGENIERIA AGRICOLA- CIENCIAS AGRARIAS	ESCALA: INDICADA
PLANO DE: SISTEMA DE PRODUCCION DEL FVH	LAMINA: SR-01
DEPARTAMENTO: ANCASH	DISTRITO: HUARAZ
PROVINCIA: HUARAZ	DIBUJO: J.M.S.T
FECHA: SETIEMBRE- 2019	