

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum spp*) POR DOS MÉTODOS USANDO
RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN EN HUARI – ANCASH, 2023**

Presentado por:

Bach. Meza Valenzuela André Victor

Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrícola

Asesor: Dr. Mejía Anaya Teófanos

**HUARAZ, PERÚ
2023**





UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELÉFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, se reunieron para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola **MEZA VALENZUELA ANDRE VICTOR** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, denominada: "**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum ssp*) POR DOS MÉTODOS USANDO RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN EN HUARI – ANCASH, 2023**", asesorado por el **Dr. MEJÍA ANAYA TEÓFANES**, Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:


APROBADO CON DISTINCIÓN

CON EL CALIFICATIVO (*)

DIECISIETE (17)

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 AGRÍCOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 10 de abril del 2024.


Mag. ESPINOZA MANCISIDOR FRANCISCO
PRESIDENTE


Mag. Sc. JARA REMIGIO FLOR
SECRETARIA


Dr. CASTILLO ROMERO GUILLERMO
VOCAL


Dr. MEJÍA ANAYA TEÓFANES
ASESOR

(*) 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).





UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCA YAN TEL: FAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada **"EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum ssp*) POR DOS MÉTODOS USANDO RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN EN HUARI – ANCASH, 2023"**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola **MEZA VALENZUELA ANDRE VICTOR**, sustentada el día 10 de abril del 2024, con Resolución Decanatural N° 247-2024 - UNASAM - FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 10 de abril del 2024.

Mag. ESPINOZA MANCISIDOR FRANCISCO
PRESIDENTE

Mag. Sc. JARA REMIGIO FLOR
SECRETARIA

Dr. CASTILLO ROMERO GUILLERMO
VOCAL

Dr. MEJÍA ANAYA TEÓFANES
ASESOR



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (TRITICUM SPP) POR DOS MÉTODOS USANDO RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN EN HUARI – ÁNCASH, 2023”

Presentado por: Meza Valenzuela André Victor

con DNI N°: 76302871

para optar el Título Profesional de:

Ingeniería Agrícola


Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 13% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 15/04/2024



FIRMA

Apellidos y Nombres: Mejía Anaya Teófanos

DNI N°: 31613572

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS FINAL - MEZA VALENZUELA AND
RE VICTOR - FCA AGRÍCOLA.pdf**

AUTOR

Andre Meza

RECUENTO DE PALABRAS

27522 Words

RECUENTO DE CARACTERES

131578 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.9MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 15, 2024 5:21 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 15, 2024 5:23 PM GMT-5**● 13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

A mi familia, mi mamá, Carmen Valenzuela, hermana, Minerva Meza, papá, Juan Meza y hermano Jhon Meza, por haberme apoyado en la forma más pura y honesta en el transcurso de mi vida personal y profesional y así poder materializar el presente trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a concretizar el presente trabajo de investigación y que ayudaron a formar mi carácter social y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida.

A mi asesor, el Dr. Mejía Anaya Teófanos por su tiempo, comprensión, voluntad y aporte académico para poder materializar la presente tesis.

A los miembros del jurado, el Dr. Espinoza Mancisidor Francisco, el Dr. Castillo Romero Guillermo y la Mg. Sc. Jara Remigio Flor, por su apoyo constante y sus valiosas observaciones al presente trabajo.

A mi querida Facultad de Ciencias Agrarias y a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por haberme acogido durante todos mis años de mi etapa universitaria.

A mis amigos más cercanos que siempre estuvieron allí para mí apoyándome de manera incondicional.

LISTA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE CONTENIDO	iii
CONTENIDO GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi



CONTENIDO GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento y formulación del problema	1
1.2.	Formulación del problema	3
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	Objetivo General	3
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	3
1.4.	Justificación	4
II.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes del tema	6
2.1.1.	Antecedentes internacionales	6
2.1.2.	Antecedentes nacionales	9
2.1.3.	Antecedentes locales	12
2.2.	Bases teóricas	13
2.2.1.	Hidroponía	13
2.2.2.	Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	14
2.2.3.	Ventajas y desventajas de la hidroponía	16
2.2.4.	Pasos para la obtención de FVH	19
2.2.5.	Riego en el forraje verde hidropónico.....	24
2.2.6.	Trigo.....	26
2.2.7.	Métodos de producción de forraje verde hidropónico	31
2.2.8.	Kc y periodo vegetativo	34
2.2.9.	Análisis de datos	39
2.3.	Definición de términos.....	43
2.4.	Hipótesis	45
2.5.	Variables	45
2.6.	Operacionalización de las variables	45
III.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	46
3.1.	Materiales.....	46
3.2.	Metodología	47

3.2.1.	Población y muestra.....	47
3.2.2.	Tipo de Investigación.....	48
3.2.3.	Diseño de investigación	48
3.3.	Procedimiento	50
3.3.1.	Preparación del sistema.....	50
3.3.2.	Forraje verde hidropónico	51
3.3.3.	Cálculo de la demanda de agua con fines de riego en el sector San Marcos – Huari – Áncash	56
3.3.4.	Plan de procesamiento y análisis de datos	62
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1.	Resultados	64
4.1.1.	Volumen de riego por micro aspersión	64
	<input type="checkbox"/> FAO (Volumen de agua calculado por el Método de la FAO)	64
	<input type="checkbox"/> UNALM (Volumen de agua calculado por el Método de la UNALM)	66
4.1.2.	Producción del forraje verde hidropónico.....	67
4.1.3.	Altura alcanzada por el forraje verde hidropónico.....	68
4.2.	Discusión.....	75
V.	CONCLUSIONES	79
VI.	RECOMENDACIONES	80
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
VIII.	ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de cultivo "kc" para diferentes especies y de acuerdo a los porcentajes de crecimiento para su empleo en la fórmula de Hargreaves	38
Tabla 2: Diseño de Bloques Completamente al Azar	42
Tabla 3: Tabla de ANOVA para el DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar).....	42
Tabla 4: Operacionalización de las variables	45
Tabla 5: Distribución de muestras para DBCA	49
Tabla 6: Horario de riegos N° 01 - FAO.....	52
Tabla 7: Horario de riegos N° 02 - FAO.....	52
Tabla 8: Temperatura (°C) tomada durante los 15 días - FAO	53
Tabla 9: Horario de riegos - UNALM	55
Tabla 10: Temperatura (°C) tomada durante los 12 días	55
Tabla 11: Tiempo en el que se midió la altura del FVH.....	56
Tabla 12: Periodo vegetativo del trigo (triticum spp).....	56
Tabla 13: Cálculo del Kc interpolando.....	57
Tabla 14: Valores del Kc de acuerdo al mes	57
Tabla 15: Cédula de cultivo.....	58
Tabla 16: Uso consuntivo kc	58
Tabla 17: Temperatura media mensual en °C estación Chavín de Huántar.....	59
Tabla 18: Temperatura media mensual en °F de Chavín de Huántar	59
Tabla 19: Humedad relativa en Chavín de Huántar.....	59
Tabla 20: Factor de corrección por HR	59
Tabla 21: Factor mensual de latitud.....	60
Tabla 22: Evapotranspiración potencial	60
Tabla 23: Evapotranspiración real	60
Tabla 24: Cuadro para obtener la PPE.....	61
Tabla 25: Precipitación efectiva (mm)	61
Tabla 26: Demanda de agua	64
Tabla 27: Volumen de agua (l/m ² /día) durante los 4 primeros días - FAO	64
Tabla 28: Volumen de agua (l/m ² /día) durante los 11 días restantes - FAO.....	65
Tabla 29: Volumen de agua usado durante los 15 días por unidad experimental - FAO.....	65
Tabla 30: Volumen de agua (l/día) durante los 12 días - UNALM	66
Tabla 31: Volumen de agua usado durante los 12 días por unidad experimental - UNALM.....	66
Tabla 32: Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la producción final	67
Tabla 33: Tabla ANOVA respecto a la producción del forraje verde hidropónico	68
Tabla 34: Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 25 %	68

Tabla 35: Análisis de Varianza en la altura del forraje al 25 % en cada uno de los métodos.....	69
Tabla 36: Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 50 %	70
Tabla 37: Análisis de Varianza en la altura del forraje al 50 % en cada uno de los métodos.....	70
Tabla 38: Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 75 %	71
Tabla 39: Análisis de Varianza en la altura del forraje al 75 % en cada uno de los métodos.....	72
Tabla 40: Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 100 %	72
Tabla 41: Análisis de Varianza en la altura del forraje al 100 % en cada uno de los métodos.....	73
Tabla 42: Prueba de Tukey de la altura del forraje al momento de la cosecha en ambos métodos (100 %)	73



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Hidroponía	13
Figura 2: Trigo.....	27
Figura 3: Localización del área de estudio	47
Figura 4: Croquis del diseño experimental	50
Figura 5: Gráfico de la prueba de Tukey de la altura del forraje al momento de la cosecha en ambos métodos (100 %).....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Peso de las bandejas para determinar la producción al finalizar el proyecto.....	85
Anexo 2: Altura del forraje	86
Anexo 3: Parámetros para interpretar el agua de riego.....	90
Anexo 4: Resultado del análisis de agua para riego	91
Anexo 5: Especificaciones técnicas de la bomba	92
Anexo 6: Especificaciones técnicas de la bandeja de forraje verde hidropónico	93
Anexo 7: Especificaciones técnicas del microaspersor	94
Anexo 8: Datos para el cálculo de la demanda de agua	96
Anexo 9: Sección fotográfica	100

RESUMEN

En la presente investigación se tuvo como objetivo general evaluar la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) por dos métodos usando riego por microaspersión en Huari – Áncash 2023, para el mismo se hizo uso de un invernadero no convencional con dos módulos de FVH (forraje verde hidropónico), y 20 bandejas forrajeras en cada uno, se usaron microaspersores de un caudal de 6 l/h para cada bandeja, el riego fue aplicado en intervalos de 30 segundos hasta 1 minuto en periodos distribuidos estratégicamente, las magnitudes involucradas para cumplir el objetivo fueron el cumplir con el volumen de agua recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) por $1/m^2/día$, la altura del forraje en centímetro y la producción medida en gramos; las cuales fueron $2.489\ 1/m^2/día$ y $2.597\ 1/m^2/día$, 19.01 cm y 20.05 cm. y 1384.05 g. y 1515.40 g. respectivamente por cada método, donde se pudo apreciar que respecto al consumo de agua el método de la FAO existe una diferencia relativamente significativa respecto a la UNALM, en cuanto a la altura se apreció que el método de la UNALM es más eficiente aun cuando se requiere menos días para la medición y en la producción se obtuvo que existe mayor cantidad de forraje con el método de la UNALM en promedio comparado con el método de la FAO.

Palabras clave: Forraje, microaspersión, agricultura, riego.

ABSTRACT

In the present research, the general objective was to evaluate the production of hydroponic green forage from wheat (*Triticum* spp) using two methods with microsprinkler irrigation in Huari – Áncash 2023. To achieve this, a non-conventional greenhouse with two modules of Hydroponic Green Forage (HGF) was utilized, each containing 20 forage trays. Microsprinklers with a flow rate of 0.6 l/hr were employed for each tray, and irrigation was applied at intervals of 30 seconds to 1 minute in strategically distributed periods.

The parameters involved in achieving the objective were to meet the water volume recommended by the Food and Agriculture Organization (FAO) and the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) per l/m²/day. The measured values were 2.4891 l/m²/day and 2.5974 l/m²/day, with forage heights of 19.01 cm and 20.05 cm, and productions of 1384.05 g and 1515.40 g, respectively, for each method. It was observed that there is a relatively significant difference in water consumption between the FAO and UNALM methods. Regarding height, the UNALM method proved to be more efficient even when requiring fewer days for measurement. In terms of production, it was found that there is a greater amount of forage with the UNALM method on average compared to the FAO method.

Keywords: Forage, microsprinkler, agricultura, irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Descripción del problema

Fuentes (2018) menciona que, el forraje verde hidropónico es una técnica agrícola innovadora que consiste en cultivar vegetación nutritiva y de alta calidad en un entorno controlado utilizando sistemas hidropónicos. Esta técnica ha ganado interés en la producción debido a su potencial para proporcionar alimento fresco y de calidad a los animales, independientemente de las estaciones del año y las limitaciones climáticas. Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, existen interrogantes y desafíos que deben abordarse para comprender mejor su aplicación y maximizar sus ventajas.

Sotelo (2020) indica que, en la sierra del Perú, donde la disponibilidad de riego tecnificado masivo es limitada y las lluvias se presentan solo en temporadas, el forraje verde hidropónico se plantea como una alternativa prometedora para la alimentación animal. Esta técnica de producción de alimento animal permite cultivar plantas nutritivas en condiciones controladas, utilizando sistemas de cultivo hidropónico que no dependen exclusivamente de la disponibilidad de agua natural. Sin embargo, en esta región se enfrentan desafíos particulares para implementar el forraje verde hidropónico de manera efectiva. Uno de los principales desafíos es la escasez de agua y la falta de sistemas de riego tecnificado, lo cual dificulta el suministro adecuado de agua y nutrientes a las plantas cultivadas. Esto requiere buscar soluciones que sean adaptables a las condiciones locales y que maximicen la eficiencia en el uso del agua.

En la sierra del Perú, donde los precios de los pastos convencionales pueden variar y verse afectados por factores como la disponibilidad estacional y la calidad nutricional, el uso de forraje verde hidropónico presenta ventajas significativas. En primer lugar, el forraje verde hidropónico permite a los ganaderos tener un mayor control sobre la calidad y la disponibilidad del alimento animal, lo que resulta en un mejor rendimiento de los animales y una mayor eficiencia en la producción.

El forraje verde hidropónico es altamente nutritivo y proporciona un suministro constante de alimento de alta calidad para los animales, independientemente de las estaciones o las condiciones climáticas locales. Al cultivar plantas en condiciones controladas, se puede garantizar un contenido nutricional óptimo y consistente en el forraje, lo que contribuye al crecimiento saludable y al rendimiento productivo de los animales.

Además, el cultivo hidropónico permite obtener forraje en períodos de crecimiento más cortos en comparación con los métodos tradicionales, lo que resulta en una mayor eficiencia en el uso de recursos como el agua y la tierra. Esto es especialmente valioso en áreas donde el acceso al agua y los recursos agrícolas puede ser limitado.

Delgado (2021) menciona que, en términos económicos, el forraje verde hidropónico puede representar una alternativa rentable en comparación con la compra de pasto convencional o la necesidad de transportar forraje desde otras áreas. Al producir el propio forraje en el lugar, los ganaderos pueden reducir los costos asociados con la adquisición y el transporte de alimentos para el ganado, lo que a su vez mejora la rentabilidad de la producción animal.

1.2. Formulación del problema

En Huari - Áncash, específicamente en zonas agrícolas con limitaciones de terreno y recursos hídricos, se plantea adoptar el cultivo de forraje verde hidropónico como una alternativa para la alimentación de animales menores. Sin embargo, se evidencia la falta de estudios acerca de qué método del mismo es el más adecuado en cuanto a producción del sistema.

Al concluir la presente investigación me permitiré responder la siguiente interrogante:

¿Cuál de los dos métodos elegidos para la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) usando riego por micro aspersion en Huari – Ancash, 2023 es el más adecuado y eficiente?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) por dos métodos usando riego por micro aspersion en Huari – Áncash, 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Calcular y discutir el requerimiento de agua necesario para el cultivo de forraje verde hidropónico del trigo (*triticum spp*).
- Determinar la producción del forraje verde hidropónico del trigo (*triticum spp*) en cada uno de los métodos.

- Determinar la altura de la planta de forraje verde hidropónico del trigo (*triticum spp*) alcanzada en cada uno de los métodos.

1.4.Justificación

Social, la población mundial está en constante aumento, lo que aumenta la demanda de alimentos. El forraje verde hidropónico se presenta como una alternativa prometedora para abordar la escasez de recursos, ya que puede producirse de manera eficiente y sostenible en espacios reducidos utilizando menos agua y terreno en comparación con los métodos de cultivo tradicionales. Al investigar y/o desarrollar técnicas óptimas para el cultivo de forraje verde hidropónico, se contribuirá a la seguridad alimentaria y a la capacidad de alimentar a una población estable o en crecimiento.

Económica, el forraje verde hidropónico permite un crecimiento rápido de las plantas, lo que proporciona una fuente constante de alimento para el ganado. Además, debido a su alta densidad de nutrientes, el forraje verde hidropónico ofrece una mayor eficiencia de conversión de alimento y reducir los costos de producción en comparación con el forraje tradicional. Investigar y optimizar las técnicas de cultivo hidropónico resulta en un mayor rendimiento y rentabilidad para los agricultores y ganaderos.

Ambiental, el cultivo de forraje verde hidropónico puede ayudar a abordar los desafíos ambientales, como la deforestación y la escasez de agua. Al utilizar técnicas hidropónicas, se requiere menos o nula tierra y menos agua en comparación con los cultivos convencionales. Además, se pueden reciclar los nutrientes y el agua utilizados en el sistema hidropónico, lo que reduce el desperdicio y la contaminación ambiental. Al investigar y

promover el cultivo de forraje verde hidropónico, se estará contribuyendo a la sostenibilidad y conservación de recursos naturales.

Académica, el forraje verde hidropónico es un campo en desarrollo que ofrece muchas oportunidades para la innovación y el desarrollo tecnológico. La investigación en este campo puede abrir nuevas perspectivas y métodos para mejorar la eficiencia de producción, la calidad nutricional y el bienestar animal. Además, el forraje verde hidropónico puede integrarse con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la automatización, para optimizar el proceso de cultivo.



II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del tema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gonzales (2015) en su trabajo de investigación “Evaluación de tres fertilizantes en la producción por hidroponía del sorgo en invernadero no convencional” menciona que, en esta investigación, se llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar el impacto de diferentes tipos de fertilizantes sintéticos en la obtención y calidad del forraje verde hidropónico. Se probaron tres tipos de fertilizantes y también se incluyó un grupo de control sin solución fertilizante. El ensayo se realizó en Santo de La Trinidad - Managua, y se utilizó un esquema experimental aleatorizado con 04 repeticiones para cada uno de los 03 tratamientos. Se aplicó una dosis específica de cada fertilizante y se midieron varias variables, como la elevación de la planta, el área foliar, el porcentaje de materia seca, el diámetro del tallo, la extensión de la raíz, la proporción de fibra bruta, el porcentaje de proteína total y la obtención de biomasa fresca. Lo que resultó se analizó estadísticamente, se realizaron comparaciones entre tratamientos utilizando la prueba de Tukey. No se encontraron contrastes significativos en las variables de la superficie foliar y diámetro del tallo, pero se observaron contrastes significativos en la longitud de la raíz, la elevación de la planta y la producción de biomasa fresca. El fertilizante completo 12.30.10 y el grupo de control mostraron un mayor contenido de materia seca, mientras que el fertilizante completo 15.15.15 y la urea presentaron un menor contenido. En cuanto a la proteína total, todos los tratamientos obtuvieron resultados admisibles, y los niveles de fibra bruta variaron dentro de un rango adecuado. Se concluyó que todos los tratamientos evaluados

fueron efectivos para mejorar la producción de forraje de sorgo en un entorno de cultivo hidropónico, a pesar de utilizar un invernadero no convencional.

Silva (2013) en su investigación “Tratamiento Germinativo de las semillas de Avena y Cebada en hidroponía” menciona que se tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres productos hormonales (Goteo Plus P1, Raizer P2 y Súper Raíz P3) en el tratamiento germinativo de semillas de avena y cebada para la producción de forraje hidropónico. Además, se analizó la rentabilidad económica de cada tratamiento.

Silva menciona que la hidroponía es uno de los métodos de cultivo que está siendo cada vez más presente tanto a pequeña y grande escala. El estudio se realizó de forma separada para cada especie forrajera y se utilizó un diseño experimental con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se llevaron a cabo análisis estadísticos para comparar los resultados obtenidos.

Los resultados mostraron que el tratamiento con Goteo Plus (P1) fue el más efectivo en términos de proporción de germinación (97.68 %), tiempo de germinación (3 días), altura de las plantas (17.05 cm.) y peso del forraje (0.94 kg.) en las tres especies. También se observaron diferencias en los contenidos de proteína bruta, fibra bruta, grasa y ceniza en el forraje de acuerdo al tratamiento aplicado.

Desde el punto de vista económico, el tratamiento con Goteo Plus (P1) demostró ser el más rentable en las tres especies, con una tasa marginal de retorno más alta.

Garduño (2011) en su proyecto de tesis “Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía” se centra en la implementación de un modelo de producción de

forraje verde hidropónico en el rancho Los Remedios, en Tulantepec, Hidalgo, con el propósito de alimentar al ganado bovino y ovino de manera adecuada y eficiente.

Menciona que la hidroponía, una técnica de cultivo sin suelo, constituye la base de este modelo. Utilizó un sistema de riego en un invernadero para suministrar agua a las semillas y permitir su crecimiento óptimo sin necesidad de suelo. Indica que la hidroponía presenta numerosas ventajas, ya que permite el cultivo eficiente de diversas plantas en espacios reducidos y no está sujeta a las limitaciones climáticas naturales. Además, los productos hidropónicos son conocidos por su calidad orgánica y su impacto ambiental mínimo.

En este proyecto, se aplicó la Técnica de Sistemas de Peter Checkland para analizar y diseñar el modelo de producción. Se adaptaron técnicas y conocimientos especializados en hidroponía a las condiciones específicas del rancho Los Remedios.

El modelo propuesto constó de tres etapas principales: el diseño y construcción del invernadero, el establecimiento de un sistema de riego adecuado y el método de producción en sí. Se describen detalladamente los pasos llevados a cabo en cada etapa y se proporcionan imágenes fotográficas como evidencia visual del proceso.

De la Peña (2010) en su tesis con carácter abierto “Evaluación de productos químicos para el control de microtoxinas en el sistema productivo de forraje verde hidropónico”, menciona que en la producción de forraje verde hidropónico para los distintos granos, existe un problema latente, el cual es la infección por agentes fúngicos, en su investigación trata de determinar las tecnologías y/o cuidados necesarios para controlar estos hongos patógenos para así tener una mayor calidad y rendimiento en la producción

de la biomasa del forraje, para realizar esta investigación usó hipoclorito de sodio a distintos porcentajes para realizar la limpieza y desinfección de los granos, demostrando en sus resultados que la dosis más efectiva del agente químico es en una relación de 8 %, ya que con ello obtuvo el 85 % de germinación comparado con otros métodos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Taboada (2022) en su tesis “Evaluación del Forraje Hidropónico de Cebada, en Sistemas de Alimentación durante el Crecimiento del Cuy” menciona que el objetivo del estudio realizado en el Laboratorio de Animales Menores de la UNALM, fue comparar diferentes métodos de alimentación para el crecimiento de cuyes. Durante 68 días, se analizaron distintos sistemas de alimentación utilizando forraje verde hidropónico (FVH) de cebada como base vegetal y forraje fresco de maíz (chala) como control.

En el estudio participaron 80 cuyes machos mejorados de 15 ± 4 días de edad, distribuidos al azar en cinco grupos de tratamiento. Los grupos incluyeron alimentación balanceada integral, solo FVH, solo chala, alimentación balanceada mixta con FVH, y alimentación balanceada mixta con chala. Los resultados demostraron que los sistemas de alimentación basados únicamente en forraje (ya sea FVH o chala) fueron más eficientes en términos de ganancia de peso diaria, conversión alimenticia y la proporción de carcasa en contraste con los sistemas de alimentación mixta o el uso de alimento balanceado integral. No se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de nutrición heterogénea y homogénea, ni entre el uso de FVH y chala de maíz en relación a los diferentes parámetros productivos evaluados. Se concluyó que el forraje verde hidropónico de cebada puede utilizarse como sustituto de la chala en sistemas de alimentación mixta para cuyes en su

etapa de crecimiento. No obstante, es importante considerar los costos del forraje alternativo y el alimento balanceado, así como el valor del cuy en cada etapa de producción y lugar de crianza, ya que en general, la opción integral mostró mejores resultados técnicos y económicos.

Pacco (2018) en su tesis titulada “Producción de Forraje Verde Hidropónico de Cebada y Avena con Adición de Fitohormonas en Cabana – Puno”, menciona que, debido a la escasez de pastos naturales, esto afecta directamente la producción y alimentación del ganado de la zona, por lo que propuso un sistema de forraje verde hidropónico donde usó fitoreguladores para determinar cuál de estos da un mejor resultado al momento de la cosecha. Para el estudio se utilizaron granos de cebada y avena, y respecto a las fitohormonas, estos fueron 3 (Biogyz, SW3 y Phyllum) haciendo un total de 8 tratamientos. Respecto a los resultados, menciona que el fitoregulador con mejor comportamiento respecto a la cebada y la avena fue Biogyz ya que se obtuvo una altura de 16.83 cm. y 15.27 cm. respectivamente, además de obtener biomasa vegetal de 18.67 kg/m² y 16.17 kg/cm² respectivamente.

Salazar (2018) en su tesis “Evaluación de un sistema de producción de forraje verde hidropónico en una estación experimental, Trujillo” menciona que en este estudio realizado en la Estación Experimental Fabio BM., se evaluó un sistema de obtención de forraje verde hidropónico. El objetivo fue fijar cómo la radiación fotosintética activa impacta en la producción del forraje, así como analizar la evapotranspiración (ETc) y la eficiencia en el consumo del agua por parte del sistema. Además, se evaluó el rendimiento del sistema de riego utilizado en el cultivo.

Se llevaron a cabo dos ensayos para determinar los niveles de radiación fotosintéticamente activa, utilizando tres niveles de sombreado (testigo, 60 % y 70 %). Se lograron índices fructíferos y bromatológicos del forraje para cada nivel de sombreado. También se realizaron dos ensayos para medir el consumo de agua por parte del forraje, calculando la evapotranspiración y la eficiencia en el consumo del agua. Por último, se analizó el sistema de riego en aspectos de homogeneidad de la lámina que se aplicó presión del sistema y caudal que los micro aspersores emitían.

Los resultados mostraron que los niveles de radiación fotosintéticamente activas en el estante de producción variaron entre 0.22 y 9.3 mol/m²/d para las dos estaciones evaluadas. Sin embargo, se encontró que estos niveles de radiación no tuvieron efectos significativos en la productividad y calidad del forraje. La evapotranspiración del forraje verde hidropónico fue de 3.4 l/m²/d durante la estación lluviosa y 3.54 l/m²/d durante la estación seca. La eficiencia en el consumo del agua fue de 389.8 kg. de forraje fresco por metro cúbico de agua y 28.5 kg de forraje seco por metro cúbico de agua durante la estación lluviosa, mientras que durante la estación seca fue de 365.3 kg. de forraje fresco por metro cúbico de agua y 26.7 kg de forraje seco por metro cúbico de agua.

En cuanto al sistema de riego, se encontraron condiciones inadmisibles en la lámina de riego que se aplicó. Sin embargo, mediante mejoras en el sistema de conducciones y emisores, se logró optimizar esta medida, así como la homogeneidad en el caudal emitido por los micro aspersores.

En conclusión, este estudio demostró que los niveles de radiación fotosintéticamente activa no tuvieron un impacto significativo en la productividad y calidad del forraje verde

hidropónico. Además, se determinó la evapotranspiración del cultivo y se evaluó la eficiencia en el uso del agua. A través de mejoras en el sistema de riego, se lograron optimizar las condiciones de aplicación del agua en el cultivo.

2.1.3. Antecedentes locales

Sotelo (2019) en su trabajo de investigación “Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico en condiciones de invernadero de cebada, aplicando tres volúmenes de riego por microaspersión, 2019”, comenta que para analizar y obtener el mejor resultado de la producción del forraje del grano mencionado, utilizó tres volúmenes de riego, los cuales fueron 1.1 l/m²/día, 2.2 l/m²/día y 3.3 l/m²/día, los cuales fueron distribuidos por un periodo de 15 días, menciona que se utilizó un programador de riego para facilitar la aplicación del mismo con un modelo de micro aspersor que gira 360°, respecto a los resultados obtenidos respecto a la altura del forraje estudiado, la aplicación que tuvo mejor comportamiento fue el 3.3 l/m²/día ya que se obtuvo una altura de 16.63 cm. comparado con las otras dos aplicaciones que fueron 14.03 cm. para el primer volumen y 14.40 cm. para el segundo volumen, también menciona que con la aplicación del volumen mayor se obtuvo mayor producción de biomasa, obteniendo 15.16 kg/m².

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Hidroponía

Mejía (2019) menciona que la hidroponía es un método de cultivo de plantas que se realiza sin suelo. En lugar de utilizar tierra, las plantas se cultivan en una solución acuosa.

Figura 1

Hidroponía



Nota: En la imagen se puede apreciar uno de los estilos de cultivo hidropónico. Tomado de Mejía (2019).

En un sistema hidropónico, las raíces de las plantas se sumergen o se exponen a la solución acuosa, que contiene una mezcla equilibrada de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos esenciales. El agua utilizada en el sistema hidropónico se recircula y se reutiliza, lo que lo hace más eficiente en términos de consumo de agua en comparación con la agricultura tradicional.

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, incluyendo el sistema de flujo y reflujo, el sistema NFT (película de nutrientes), el sistema de raíz flotante y el sistema de

cultivo en aeroponía. Cada uno de ellos tiene sus propias características y requisitos de funcionamiento.

La hidroponía ofrece varias ventajas sobre la agricultura tradicional en suelo. Al eliminar el suelo, se eliminan los problemas asociados con enfermedades del suelo, malezas y ciertos insectos. Además, los cultivos hidropónicos pueden ser cultivados en cualquier época del año, independientemente de las condiciones climáticas exteriores, lo que permite un mayor control sobre el entorno de cultivo.

Además, la hidroponía puede ser utilizada en áreas donde el suelo es de mala calidad o escaso, lo que la convierte en una opción viable para la producción de alimentos en zonas urbanas o en regiones con condiciones climáticas adversas.

Juárez (2013) sin embargo, comenta que, la hidroponía también presenta desafíos. Requiere una atención constante para mantener los niveles adecuados de nutrientes y pH en la solución nutritiva. Además, el establecimiento y mantenimiento de un sistema hidropónico puede ser costoso en comparación con los métodos de cultivo tradicionales. La hidroponía es un método de cultivo de plantas sin suelo que ofrece ventajas como un mayor control sobre el entorno de cultivo y la capacidad de cultivar en áreas donde el suelo es limitado o de mala calidad. Sin embargo, también requiere una atención constante y puede ser más costoso de establecer y mantener en comparación con la agricultura tradicional.

2.2.2. Forraje Verde Hidropónico (FVH)

Resh (2012) indica que el forraje verde hidropónico (FVH) es un método de obtención de alimento para animales en el que se cultiva forraje verde utilizando técnicas

hidropónicas. En lugar de cultivar pasto en el suelo, se utiliza un sistema de cultivo sin suelo en el que las semillas se germinan en bandejas o recipientes con una capa de sustrato o sin sustrato. En el sistema de forraje verde hidropónico, las semillas se remojan en agua para iniciar el proceso de germinación. Luego, se colocan en las bandejas o recipientes y se riegan con regularidad utilizando una cantidad de agua adecuada para estimular el crecimiento de las plantas. Las condiciones ambientales, como la temperatura y la iluminación, también se controlan cuidadosamente para promover un crecimiento óptimo.

A medida que las plantas crecen, se corta el forraje verde y se ofrece a los animales como alimento fresco y nutritivo. Este sistema permite obtener forraje de alta calidad en un corto período de tiempo, generalmente entre 12 y 18 días, lo que lo hace particularmente útil en situaciones en las que el pasto natural es escaso o de baja calidad.

El forraje verde hidropónico tiene varias ventajas. En primer lugar, es una fuente de alimento altamente nutritiva para el ganado, ya que las plantas se cosechan en su punto máximo de crecimiento, lo que resulta en un contenido nutricional concentrado. Además, el FVH puede ayudar a reducir los costos de alimentación, ya que se requiere menos cantidad de forraje en comparación con el pastoreo tradicional.

Además, el FVH ofrece una mayor eficiencia en el uso del agua, ya que el sistema hidropónico recircula el agua utilizada en lugar de requerir grandes cantidades de agua para el riego. También puede ser una opción viable en áreas donde el acceso al pasto es limitado, como zonas urbanas o en épocas de sequía.

También comenta, que, sin embargo, también existen algunos desafíos asociados con el forraje verde hidropónico. El costo inicial de establecer el sistema puede ser más alto en

comparación con el pastoreo convencional. Además, se requiere un monitoreo y control adecuados de las condiciones ambientales y la calidad del agua para evitar problemas de contaminación o enfermedades en las plantas.

El forraje verde hidropónico es un método de producción de alimento para animales que utiliza técnicas hidropónicas para cultivar forraje verde de alta calidad en un corto período de tiempo. Ofrece ventajas en términos de nutrición animal, eficiencia en el uso del agua y disponibilidad de forraje en áreas limitadas. Sin embargo, también presenta desafíos en términos de costos iniciales y requisitos de monitoreo y control. Delgado (2021).

2.2.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía

Chavarría (2018) menciona que la hidroponía presenta varias ventajas que la hacen atractiva en comparación con la agricultura tradicional y también algunas desventajas. Entre las que encontramos:

Ventajas

- Uso eficiente de recursos: En los sistemas hidropónicos, se utiliza menos agua en comparación con los métodos convencionales de cultivo en suelo. El agua usualmente recircula y se utiliza de manera más eficiente, lo que resulta en un menor consumo global.
- Ahorro de espacio: La hidroponía permite cultivar plantas en espacios reducidos, ya que no se necesita suelo. Los cultivos hidropónicos se pueden establecer en estructuras verticales o en sistemas de cultivo en capas, aprovechando el espacio de manera eficiente.
- Control sobre los nutrientes: En los sistemas hidropónicos, los nutrientes se suministran directamente a las raíces de las plantas en forma de solución nutritiva. Esto permite un

control preciso y ajustable de los nutrientes esenciales, lo que facilita el crecimiento y desarrollo óptimos de las plantas.

- Mayor rendimiento y crecimiento acelerado: Las plantas cultivadas en hidroponía tienden a crecer más rápido y producir rendimientos más altos en comparación con los cultivos tradicionales en suelo. Esto se debe al acceso directo a nutrientes, oxígeno y agua, lo que optimiza las condiciones para el crecimiento de las plantas.
- Menor exposición a enfermedades y plagas: Al cultivar en un entorno controlado y sin suelo, la hidroponía reduce la exposición de las plantas a enfermedades transmitidas por el suelo y a plagas comunes. Esto puede disminuir o eliminar la necesidad de utilizar pesticidas y fungicidas.
- Cultivo durante todo el año: La hidroponía permite el cultivo de plantas en cualquier época del año, independientemente de las condiciones climáticas exteriores. Se pueden crear entornos óptimos para el crecimiento de las plantas en cualquier estación, lo que garantiza un suministro constante de productos frescos.

Desventajas

- Costo inicial y mantenimiento: La instalación inicial de un sistema hidropónico puede requerir una inversión significativa en comparación con la agricultura tradicional. Los costos están asociados a la infraestructura, equipos, sistemas de iluminación, control ambiental y suministro de nutrientes. Además, los sistemas hidropónicos requieren un monitoreo y mantenimiento continuo para garantizar el equilibrio adecuado de nutrientes y condiciones ambientales.
- Conocimientos técnicos requeridos: La hidroponía es una técnica más compleja que la agricultura tradicional. Requiere un mayor conocimiento y experiencia en la preparación

de soluciones nutritivas, manejo de sistemas de riego, monitoreo de pH, control de plagas y enfermedades, entre otros aspectos. Esto puede suponer un desafío para aquellos que se inician en la hidroponía sin experiencia previa.

- Dependencia de la tecnología y energía: Los sistemas hidropónicos dependen de la tecnología y la energía para su funcionamiento. Esto implica el uso de sistemas de iluminación artificial, sistemas de calefacción y refrigeración, y otros dispositivos para mantener las condiciones óptimas. Los cortes de energía o fallos técnicos pueden tener un impacto significativo en el cultivo hidropónico y requieren medidas de respaldo.
- Falta de diversidad microbiana del suelo: En la hidroponía, al no utilizar suelo, se pierde la riqueza de la diversidad microbiana natural presente en el suelo. Estos microorganismos desempeñan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y el mantenimiento de la salud del suelo. En los sistemas hidropónicos, se debe prestar especial atención a la salud de las raíces y a la calidad del agua y los nutrientes suministrados.
- Riesgo de fallos del sistema: Los sistemas hidropónicos son sensibles a los desequilibrios en la solución nutritiva, como fluctuaciones en el pH o la concentración de nutrientes. Si no se controlan adecuadamente, estos desequilibrios pueden afectar negativamente el crecimiento de las plantas e incluso causar daños irreparables. Un mal funcionamiento en el sistema de riego o en los dispositivos de control ambiental también puede tener consecuencias negativas en el cultivo.

2.2.4. Pasos para la obtención de FVH

Salazar (2018) indica que la producción de forraje verde hidropónico es un sistema que permite cultivar alimentos para animales de manera rápida y eficiente, utilizando técnicas de cultivo sin suelo y suministro de nutrientes en agua.

El proceso de producción de forraje verde hidropónico generalmente implica los siguientes pasos:

- **Preparación del sistema:**

Se selecciona un área adecuada para la instalación del sistema de cultivo hidropónico. Se pueden utilizar estantes o estanterías con bandejas para colocar el medio de cultivo y las semillas.

Para comenzar, es necesario seleccionar un área adecuada para instalar el sistema de cultivo hidropónico. Esto puede ser en un invernadero, una estructura cubierta o incluso en un espacio interior, siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos. Al elegir el lugar, se deben considerar aspectos como la disponibilidad de luz natural o la posibilidad de instalar sistemas de iluminación artificial, así como la temperatura y la ventilación adecuadas.

Una vez seleccionada el área, se pueden utilizar estantes o estanterías con bandejas para colocar el medio de cultivo y las semillas. Estos estantes pueden ser de metal, plástico o madera, dependiendo de las preferencias y las necesidades específicas del productor. Es importante asegurarse de que los estantes sean lo suficientemente resistentes para soportar el peso del medio de cultivo y las plantas en crecimiento.

Además, se debe instalar un sistema de riego adecuado para suministrar agua y nutrientes a las plantas. Esto puede incluir sistemas de riego por micro aspersión, goteo,

sistemas de nebulización o sistemas de flujo y reflujo, entre otros. La elección del sistema de riego dependerá del tipo de cultivo y de las preferencias del productor.

Asimismo, se debe contar con un suministro de agua de calidad para el riego. El agua utilizada en el cultivo hidropónico debe estar libre de contaminantes y tener un pH adecuado. En algunos casos, puede ser necesario utilizar agua tratada o filtrada para garantizar la salud de las plantas.

Finalmente, se debe establecer un sistema de iluminación adecuado si se cultiva en un espacio interior o si la luz natural no es suficiente. Las plantas necesitan una cantidad adecuada de luz para realizar la fotosíntesis y crecer de manera saludable. Se pueden utilizar luces fluorescentes, luces LED o luces de cultivo específicas para proporcionar la intensidad y el espectro de luz adecuados para el crecimiento de las plantas.

La preparación del sistema para la producción de forraje verde hidropónico implica seleccionar un área adecuada, instalar estantes o estanterías, preparar el medio de cultivo, establecer un sistema de riego apropiado, asegurar un suministro de agua de calidad y proporcionar iluminación adecuada. Estos pasos iniciales son fundamentales para crear un entorno propicio para el crecimiento saludable de las plantas y para garantizar el éxito del cultivo hidropónico.

- **Germinación de las semillas**

Las semillas de forraje se colocan en bandejas con el medio de cultivo y se humedecen. Se les proporciona luz y temperatura adecuadas para estimular la germinación. La germinación de las semillas es el proceso mediante el cual las semillas comienzan a desarrollar una nueva planta. En el caso del cultivo de forraje verde hidropónico, este

proceso es especialmente importante, ya que es el inicio del crecimiento de las plantas que luego se convertirán en el alimento para los animales.

Los pasos comunes involucrados en la germinación de las semillas para la producción de forraje verde hidropónico son:

Selección de semillas: Es fundamental elegir semillas de buena calidad y adecuadas para el tipo de forraje que se desea cultivar. Las semillas deben estar frescas, limpias y libres de enfermedades o daños. Además, es importante asegurarse de que las semillas sean adecuadas para el sistema hidropónico, ya que algunas variedades pueden tener requisitos específicos.

- **Siembra de las semillas**

Las semillas se colocan de manera uniforme sobre el medio de germinación, dejando un espacio adecuado entre ellas para permitir un crecimiento sin obstrucciones. Se pueden sembrar manualmente o utilizando sembradoras específicas para este propósito.

Humedad y temperatura: Durante la germinación, es esencial mantener una humedad adecuada en el medio de germinación para que las semillas puedan absorber agua y comenzar a crecer. También es importante mantener una temperatura óptima para la germinación de las semillas, que varía según la especie de la planta. Generalmente, se recomienda mantener una temperatura constante y cálida, alrededor de 18-25 grados Celsius.

Luz: Algunas semillas pueden requerir luz para la germinación, mientras que otras pueden germinar en la oscuridad. Es importante seguir las recomendaciones específicas para cada tipo de semilla. Si se requiere luz, se puede proporcionar utilizando luces fluorescentes, luces LED o luz natural si se cultiva en un invernadero.

Tiempo de germinación: El tiempo necesario para la germinación varía según el tipo de semilla y las condiciones ambientales. Por lo general, las semillas comienzan a germinar en unos pocos días, pero pueden tardar más tiempo en completar el proceso de germinación y desarrollar plántulas saludables.

La germinación de las semillas en la producción de forraje verde hidropónico implica seleccionar semillas de calidad, preparar un medio de germinación adecuado, sembrar las semillas en el medio, mantener una humedad y temperatura adecuada.

- El monitoreo regular de los niveles de nutrientes y pH en la solución acuosa es esencial para evitar deficiencias o excesos que puedan afectar el desarrollo de las plantas. También es importante tener en cuenta que, a medida que las plantas crecen y absorben los nutrientes, la composición de la solución nutritiva puede cambiar, por lo que es necesario ajustarla periódicamente. El riego y el suministro de nutrientes en el cultivo hidropónico de forraje verde son fundamentales para proporcionar a las plantas los elementos necesarios para su crecimiento. El monitoreo regular de los niveles de nutrientes y pH en la solución nutritiva garantiza un entorno óptimo para el desarrollo saludable de las plantas y la obtención de un forraje de calidad.

- **Crecimiento y cosecha**

Las plantas se dejan crecer durante un período de tiempo determinado, generalmente de 7 a 15 días, dependiendo del tipo de forraje. Durante este tiempo, se monitorean las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, para garantizar un crecimiento óptimo. Una vez que las plantas han alcanzado el tamaño deseado, se cosechan cortándolas cerca de la base.

Durante el período de crecimiento, es importante monitorear y mantener condiciones ambientales óptimas para asegurar un desarrollo saludable de las plantas. Esto incluye aspectos como la temperatura, la humedad y la iluminación. Las temperaturas adecuadas suelen oscilar entre 18°C y 25°C, y la humedad relativa se mantiene alrededor del 60 % al 70 %. Además, las plantas requieren una fuente de luz adecuada, como luz natural o iluminación artificial con lámparas específicas para plantas. Durante el crecimiento, las plantas absorben los nutrientes de la solución nutritiva y utilizan la energía de la luz para llevar a cabo la fotosíntesis, lo que les permite crecer y desarrollar un follaje verde y abundante. Durante este período, es importante controlar y ajustar la solución nutritiva según sea necesario para asegurar un suministro adecuado de nutrientes a las plantas.

La cosecha del forraje se realiza generalmente cuando las plantas han alcanzado el tamaño deseado y tienen un follaje exuberante. La cosecha se lleva a cabo cortando las plantas cerca de la base, preferiblemente utilizando tijeras o cuchillas limpias y afiladas. Es importante asegurarse de no dañar el sistema de raíces durante el proceso de cosecha.

Después de la cosecha, se recomienda enjuagar el forraje hidropónico para eliminar cualquier residuo de solución nutritiva o suciedad. Luego, el forraje está listo para ser alimentado a los animales. Es importante tener en cuenta que el forraje hidropónico fresco tiene una vida útil limitada y es mejor consumirlo lo antes posible después de la cosecha para garantizar su calidad y valor nutricional.

2.2.5. Riego en el forraje verde hidropónico

Zagal (2016) menciona que, en el cultivo de forraje verde hidropónico, el riego desempeña un papel crucial para proporcionar agua y nutrientes a las plantas de manera eficiente. Considera las siguientes pautas:

- Programación del riego

En el sistema hidropónico, el riego se programa para suministrar agua y nutrientes a las plantas en momentos específicos del día. La frecuencia y la duración del riego dependerán de varios factores, como el tipo de planta, el tamaño de las raíces, las condiciones ambientales y el sistema de cultivo utilizado.

- Métodos de riego

Hay diferentes métodos de riego utilizados en el cultivo hidropónico de forraje verde. Algunos de los métodos comunes incluyen:

- Riego por goteo: En este método, se utilizan tubos o mangueras con pequeños orificios para liberar agua y nutrientes directamente a las raíces de las plantas.
- Riego por inundación y drenaje: En este método, se sumerge el medio de cultivo en agua y nutrientes durante un tiempo determinado y luego se drena para permitir que las raíces respiren antes del próximo riego.
- Riego NFT (nutrient film technique): En este método, se utiliza una película delgada de agua y nutrientes que fluye constantemente a través de las raíces de las plantas, lo que les proporciona una fuente constante de agua y nutrientes.
- Riego por micro aspersión: El riego por micro aspersión es otro método de riego utilizado en la agricultura que puede ser aplicado en el cultivo hidropónico de

forraje verde. Este método es similar al riego por aspersión, pero utiliza boquillas o emisores de riego de menor tamaño que dispersan el agua en forma de gotas más pequeñas y finas.

- Riego por aspersión: El riego por aspersión es un método comúnmente utilizado en la producción de forraje verde hidropónico. El riego por aspersión consiste en rociar agua y nutrientes sobre las raíces de las plantas de manera uniforme. Es importante contar con un sistema de riego por aspersión adecuado para el cultivo de forraje verde hidropónico. Esto implica la instalación de aspersores o boquillas de riego estratégicamente ubicados para garantizar una cobertura uniforme en todo el área de cultivo.

- **Control de la cantidad de agua**

Es importante controlar la cantidad de agua suministrada a las plantas en el cultivo hidropónico. Demasiada agua puede saturar el medio de cultivo y afectar el desarrollo de las raíces, mientras que muy poca agua puede provocar estrés hídrico y afectar el crecimiento de las plantas. El objetivo es proporcionar suficiente agua para mantener el medio de cultivo húmedo sin encharcarlo. Se recomienda utilizar agua limpia y libre de contaminantes. Además, es fundamental controlar el pH del agua para asegurarse de que esté dentro de los rangos óptimos para el cultivo hidropónico.

- **Automatización del riego**

En muchos sistemas de cultivo hidropónico, el riego se puede automatizar mediante el uso de temporizadores o programadores de riego, sensores de humedad del sustrato o sistemas de control de riego que monitorean y regulan el suministro de agua y nutrientes

de manera precisa y eficiente. Cabe destacar que cada sistema de cultivo hidropónico puede tener requisitos específicos de riego.

- **Calidad de agua de riego**

Resh (2012) menciona que el pH del agua de riego es un factor importante a considerar, ya que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua, y se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro. Un pH por debajo de 7 indica acidez, mientras que un pH por encima de 7 indica alcalinidad. En general, la mayoría de las plantas prefieren un rango de pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino. El rango ideal suele estar entre 6.0 y 7.5. Si el pH del agua de riego es demasiado alto o bajo, puede afectar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes del suelo. En suelos muy ácidos, por ejemplo, ciertos nutrientes esenciales pueden volverse menos disponibles para las plantas. Por otro lado, en suelos alcalinos, algunos nutrientes también pueden volverse menos accesibles.

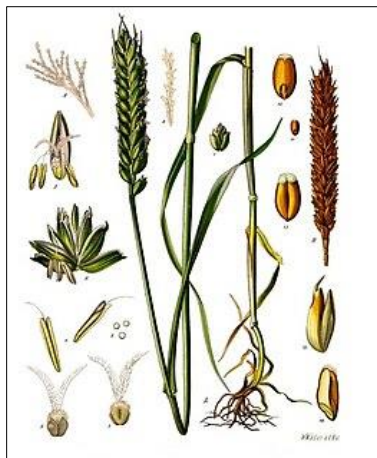
2.2.6. Trigo

Ubicación taxonómica del trigo

Reino	: Plantae (plantas)
División	: Magnoliophyta (plantas con flores)
Clase	: Liliopsida (monocotiledóneas)
Orden	: Poales (gramíneas)
Familia	: Poaceae (gramíneas)
Subfamilia	: Pooideae
Género	: Triticum
Especie	: <i>Triticum spp.</i> (especies de trigo cultivadas como <i>Triticum aestivum</i> y <i>Triticum durum</i>)

Figura 2

Trigo



Nota: Se observa la variedad *triticum* spp. Tomado de Garófalo (2011).

Garófalo (2011) menciona que, dentro del género *Triticum*, se encuentran varias especies de trigo que son ampliamente cultivadas:

Triticum aestivum: Es conocido como trigo común, trigo panadero o trigo de primavera. Es la especie de trigo más cultivada a nivel mundial y se utiliza principalmente para la producción de harina de trigo utilizada en la panificación y otros productos horneados.

Triticum durum: También conocido como trigo duro, es otra especie importante en la producción de trigo. Se utiliza principalmente para la producción de sémola de trigo, que se emplea en la fabricación de pasta y otros productos alimentarios.

- **Principales variedades y especies del trigo**

El trigo es un cultivo ampliamente diversificado en términos de variedades y especies. Las variedades de trigo se han desarrollado a través del mejoramiento genético para adaptarse a diferentes condiciones climáticas, resistir enfermedades y plagas, y satisfacer

las necesidades de la industria alimentaria. Entre principales variedades y especies de trigo, están:

- Trigo duro (*Triticum durum*): Esta es una de las especies más importantes de trigo y se utiliza principalmente en la producción de sémola de trigo, que se emplea en la fabricación de pasta y otros productos alimentarios. Algunas variedades de trigo duro ampliamente conocidas incluyen 'Mediterráneo', 'Svevo' y 'Desert King'.
- Trigo común o trigo panadero (*Triticum aestivum*): Es la especie de trigo más cultivada a nivel mundial. El trigo panadero se utiliza en la producción de harina de trigo, que se emplea en la panificación y otros productos horneados. Existen muchas variedades de trigo panadero, cada una con diferentes características y usos. Algunas variedades populares incluyen 'Blanco Grande', 'Marquis', 'Sonora', 'Red Fife' y 'Lodestar'.
- Trigo espelta (*Triticum spelta*): También conocido como trigo antiguo o trigo dinkel, el trigo espelta es una especie de trigo ancestral. Se cultiva principalmente por su valor nutricional y sabor distintivo. Aunque el cultivo de trigo espelta es menos común en comparación con el trigo duro y el trigo panadero, ha ganado popularidad debido a su contenido de proteínas y nutrientes. Algunas variedades de trigo espelta incluyen 'Oberkulmer Rotkorn', 'Schwabenkorn' y 'Speltz'.

Estas son solo algunas de las variedades y especies de trigo más conocidas y ampliamente cultivadas. Sin embargo, en diferentes regiones del mundo, pueden existir variedades y especies de trigo localmente adaptadas y de uso específico. El mejoramiento genético continuo ha permitido el desarrollo de variedades de trigo con características específicas, como alta productividad, resistencia a enfermedades y calidad del grano, para

satisfacer las demandas de la industria alimentaria y las necesidades de los agricultores en diferentes áreas geográficas.

- **Propiedades nutricionales del trigo**

Garófalo (2011) menciona que, el trigo es un cereal altamente nutritivo y una fuente importante de energía en la dieta humana. El grano de trigo contiene una variedad de nutrientes esenciales que son beneficiosos para la salud. Entre las principales propiedades nutricionales del trigo:

Carbohidratos: El trigo es una excelente fuente de carbohidratos complejos, que son la principal fuente de energía en la dieta. Los carbohidratos del trigo se presentan principalmente en forma de almidón, que proporciona energía de liberación lenta y sostenida.

Proteínas: El trigo es una buena fuente de proteínas vegetales. Si bien la calidad de las proteínas del trigo puede variar, contiene una mezcla de aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y mantenimiento del cuerpo humano. Sin embargo, el trigo es deficiente en lisina, un aminoácido esencial, por lo que se suele combinar con otras fuentes de proteínas que complementen su perfil de aminoácidos.

Fibra dietética: El trigo contiene fibra dietética, principalmente en la forma de celulosa, hemicelulosa y beta-glucano. La fibra dietética del trigo ayuda a promover la salud digestiva, previene el estreñimiento y puede contribuir a la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y algunos tipos de cáncer.

Vitaminas: El trigo es una fuente de varias vitaminas del complejo B, como tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), niacina (vitamina B3) y ácido fólico (vitamina

B9). También contiene vitamina E, que actúa como antioxidante y protege a las células del daño oxidativo.

Minerales: El trigo es rico en minerales como el hierro, el magnesio, el zinc y el fósforo. Estos minerales desempeñan funciones importantes en el organismo, como la formación de glóbulos rojos, el mantenimiento de la salud ósea y la regulación de la actividad enzimática.

Es importante destacar que muchas de las propiedades nutricionales del trigo se encuentran principalmente en el grano entero. Cuando el trigo se procesa y se refinan, como en el caso de la harina blanca, se pierden algunas de estas propiedades, como la fibra y parte de los nutrientes. Por lo tanto, se recomienda consumir trigo en su forma integral y no refinada para aprovechar al máximo sus beneficios nutricionales.

Cabe mencionar que las propiedades nutricionales pueden variar ligeramente entre las diferentes variedades y especies de trigo, así como según las condiciones de cultivo y el manejo post cosecha.

- **Propiedades nutricionales del trigo como forraje verde hidropónico**

Alberto (2016) indica que, el valor nutritivo del trigo como forraje verde hidropónico puede variar según varios factores, como la etapa de crecimiento de las plantas, el sistema de cultivo utilizado y la calidad del agua y los nutrientes suministrados.

Proteínas: El trigo como forraje verde hidropónico posee un contenido moderado a alto de proteínas tales como la glutenina y gliadinas. El valor proteico dependerá de la variedad de trigo, las condiciones de cultivo y el tiempo de crecimiento. En general, el forraje de trigo hidropónico en etapas tempranas de crecimiento tiende a tener un mayor contenido de proteínas.

Fibra dietética: El forraje verde de trigo hidropónico es una buena fuente de fibra dietética, que incluye tanto fibra insoluble como soluble. La fibra dietética ayuda en la salud gastrointestinal y puede contribuir a una mejor digestión en los animales.

Vitaminas y minerales: El trigo como forraje verde hidropónico contiene una variedad de vitaminas y minerales esenciales. Estos nutrientes dependerán de los nutrientes agregados al agua de riego y la absorción de las plantas. En general, el forraje verde hidropónico es una fuente de vitaminas del complejo B, vitamina C, vitamina E y minerales como el hierro, el zinc y el magnesio.

Digestibilidad: El forraje verde hidropónico de trigo tiende a tener una buena digestibilidad para los animales, lo que significa que los nutrientes son más fácilmente absorbidos por el sistema digestivo. Esto hace que el forraje de trigo hidropónico sea una opción atractiva para la alimentación animal.

En general, el trigo como forraje verde hidropónico proporciona una fuente de alimento rica en proteínas, fibra dietética y nutrientes para los animales, lo que lo convierte en una opción interesante para la producción de forraje en sistemas hidropónicos.

2.2.7. Métodos de producción de forraje verde hidropónico

Como ya se mencionó anteriormente, el forraje verde hidropónico es un sistema de producción de alimentos para animales en el cual se cultivan diferentes tipos de plantas utilizando técnicas hidropónicas. En lugar de cultivar las plantas en suelo, se utilizan bandejas o sistemas de cultivo en agua, lo que permite un crecimiento rápido y eficiente de las plantas en un entorno controlado.

Método de la FAO

Según la Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2002) se ha fijado una cadena de pasos para lograr el éxito en la producción de forraje verde hidropónico. Estos pasos incluyen:

- Selección de las especies de granos: Para el forraje verde hidropónico, se recomienda utilizar principalmente granos de avena, trigo o cebada, aunque también se pueden considerar otras opciones.
- Elección de la semilla: Es importante utilizar semillas de excelente calidad, provenientes de fuentes confiables y adecuadas a las condiciones locales. Se debe asegurar que las semillas tengan una alta tasa de germinación y rendimiento probado.
- Lavado de las semillas: La semilla deberá ser desinfectada y lavada con una solución de hipoclorito de sodio al 0.9 % durante aproximadamente tres minutos. Esto tiene como objetivo eliminar hongos y bacterias contaminantes. Después del lavado, se enjuaga rigurosamente la semilla con agua limpia.
- Remojo y germinación de las semillas: Las semillas se colocan en una bolsa y se sumergen totalmente en agua limpia durante un rango de 24 horas. Este tiempo se fracciona en dos períodos de 12 horas cada uno, intercalados con un período de oreo de una hora.
- Último oreo: Después de la pre-germinación, se realiza un último oreo para asegurar un crecimiento inicial óptimo del forraje verde hidropónico. Cambiar el agua cada doce horas beneficia a mejorar a que la semilla sea oxigenada.
- Dosis de siembra: La cantidad óptima de semillas a sembrar por metro cuadrado oscila en un rango de 2,3 y 3,5 kilogramos, asegurando que no superen los 1,6 centímetros en la bandeja.

- Siembra de la bandeja e iniciación de los riegos: Las semillas pre-germinadas se siembran en las bandejas, distribuyendo una capa delgada de semillas. Luego, se inicia el riego.
- Riego de las bandejas: Durante los primeros cuatro días, se aplica un riego de hasta 1.50 litros por metro cuadrado por día. Luego, se aumenta gradualmente a una media de 2.50 a 3.00 litros por metro cuadrado por día.
- Cosecha y rendimiento: La cosecha de FVH suelen alcanzar una producción de 4 a 6 kg. de biomasa vegetal y una altura media de 18 centímetros por cada kilogramo de semilla utilizada en aproximadamente 15 días, en condiciones climáticas favorables.

Es importante seguir estos pasos para garantizar un adecuado crecimiento y rendimiento del forraje verde hidropónico.

Método de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2005)

Según el Centro de investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) se han identificado una serie de pasos necesarios para lograr una producción exitosa de forraje verde hidropónico. Estos pasos son los siguientes:

- Selección de las semillas para eliminar cualquier semilla partida, semillas de otras plantas, piedras, pajas, etc.
- Pesaje de las semillas (cereales)
- Limpieza de las semillas con agua para conseguir semillas limpias.
- Previamente, las semillas deberán ser desinfectadas y lavadas utilizando hipoclorito de sodio al 1 % (10 ml de lejía en 1 litro de agua). Las semillas se dejan en remojo en esta solución durante una hora y luego con abundante agua, se procede a enjuagar. Las semillas

se remojan durante 24 horas, asegurándose de sumergirlas totalmente en agua. Si se nota que se enturbia el agua, se debe cambiar para garantizar una adecuada oxigenación de las semillas. Recomienda usar 2.5 kg. de semilla por metro cuadrado.

- Pasado el tiempo de remojo, se procede a escurrir el agua y lavar las semillas nuevamente. Luego se nivelan en una bandeja formando una capa uniforme.
- Se realiza el riego para mantener las semillas húmedas. Es importante que la capa de semilla no supere los 1.5 cm de espesor. El volumen de riego debe ser de 2.5 a 3 litros por metro cuadrado por día desde el inicio de la siembra hasta la cosecha de la misma.
- Después de aproximadamente cuatro días, comienzan a aparecer las primeras hojitas.
- La cosecha se lleva en un máximo de 12 días, cuando el forraje alcanza una altura media de 18 a 20 cm. Se consigue aproximadamente 1500 g de biomasa forrajera a partir de 300 gramos de semillas, lo que equivale a una relación aproximada de 1:5.

2.2.8. Kc y periodo vegetativo

Mendoza (2018) menciona que Kc se refiere al coeficiente de cultivo, que es un factor utilizado para calcular la cantidad de agua que necesita un cultivo en particular en relación con la evapotranspiración de referencia. El coeficiente de cultivo (Kc) varía según el tipo de cultivo, su etapa de desarrollo y las condiciones climáticas locales.

El coeficiente de cultivo varía según el tipo de cultivo, su etapa de desarrollo y las condiciones climáticas locales. Se utiliza para ajustar la evapotranspiración de referencia y calcular la cantidad de agua que un cultivo en particular necesita para crecer y desarrollarse adecuadamente. Esto es esencial para la gestión del riego en la agricultura, ya que ayuda a

determinar cuánta agua debe proporcionarse al cultivo para evitar el estrés hídrico y maximizar el rendimiento.

Valores de KC: Los valores de KC varían según el tipo de cultivo y su etapa de desarrollo. En la etapa inicial de crecimiento, el cultivo no transpira ni evapora tanta agua como en etapas posteriores de desarrollo. Por lo tanto, el KC es menor al principio y aumenta a medida que el cultivo madura.

Aplicaciones: El conocimiento de los valores de KC para diferentes cultivos y condiciones climáticas es fundamental para la gestión eficiente del riego agrícola. Los agricultores y los gestores del agua utilizan esta información para programar el riego de manera óptima y evitar el desperdicio de agua. También es útil para calcular las necesidades hídricas a lo largo de la temporada de crecimiento y determinar la cantidad de agua disponible en reservorios o fuentes de agua subterránea.

También menciona que el período vegetativo, es una etapa específica en el ciclo de vida de una planta en la que experimenta un crecimiento activo y desarrollo de sus partes vegetativas, como hojas, tallos y raíces. Durante este período, la planta está principalmente enfocada en acumular biomasa y aumentar su tamaño y estructura vegetativa. El período vegetativo es crucial para el crecimiento y la producción de cultivos, ya que determina en gran medida el tamaño y la calidad de las partes comestibles de la planta, como frutas, hojas o tallos.

Algunos aspectos clave del periodo vegetativo incluyen:

Crecimiento de las hojas: Durante esta fase, la planta produce nuevas hojas y las existentes se expanden. El crecimiento de las hojas es esencial para la fotosíntesis, ya que son las principales estructuras responsables de la captura de la luz solar y la conversión de la energía en carbohidratos.

Desarrollo de tallos y raíces: Los tallos y las raíces también experimentan un crecimiento activo durante el período vegetativo. Los tallos se alargan y las raíces se expanden para absorber nutrientes y agua del suelo.

Formación de tejidos vegetativos: Se producen nuevos tejidos vegetativos, como xilema y floema, que son fundamentales para el transporte de agua y nutrientes dentro de la planta.

Acumulación de reservas de energía: Durante el período vegetativo, la planta acumula reservas de energía en forma de almidones y azúcares, que se utilizarán más tarde durante la fase de floración y fructificación.

La duración del período vegetativo varía según la especie de planta y las condiciones ambientales, como la temperatura, la luz y la disponibilidad de agua y nutrientes. En las plantas anuales, como muchos cultivos de hortalizas, el período vegetativo es relativamente corto y precede a la formación de flores y frutos. En las plantas perennes, como los árboles frutales, el período vegetativo puede ser más largo y se repite año tras año.

Resh (2012) menciona que las duraciones de cada fase del desarrollo del trigo pueden variar considerablemente según la variedad de trigo, las condiciones climáticas y el manejo

agronómico. Sin embargo, una aproximación de cada fase del trigo (*triticum spp*) son las siguientes:

- Germinación: La germinación generalmente ocurre dentro de 2 a 5 días después de la siembra, dependiendo de las condiciones del suelo y del clima.
- Fase de Plántula: Esta etapa puede durar alrededor de 2 a 3 semanas después de la germinación.
- Fase de Macollaje: El desarrollo de los vástagos adicionales generalmente ocurre durante varias semanas después de la fase de plántula, dependiendo de la variedad y las condiciones de crecimiento.
- Fase de Embuche: La formación de las espigas suele ocurrir alrededor de 8 a 10 semanas después de la siembra, pero puede variar.
- Floración: La floración puede ocurrir aproximadamente de 10 a 14 días después de la formación de las espigas.
- Desarrollo de Grano: El desarrollo y llenado de los granos puede ocurrir durante varias semanas después de la floración, dependiendo de las condiciones.
- Madurez Fisiológica: Esta etapa puede ocurrir alrededor de 30 a 45 días después de la floración, pero nuevamente, puede variar.

Tabla 1

Coefficiente de cultivo "kc" para diferentes especies y de acuerdo a los porcentajes de crecimiento para su empleo en la fórmula de Hargreaves

% de Crecimiento	Grupo	Grupo	Grupo	Grupo	Grupo	Grupo	Grupo
	A	B	C	D	E	F	G
0%	0	0	0	0	0	0	0
5%	0.2	0.15	0.12	0.08	1	0.6	0.55
10%	0.36	0.27	0.22	0.15	1	0.6	0.6
15%	0.5	0.38	0.3	0.19	1	0.6	0.65
20%	0.64	0.48	0.38	0.27	1	0.6	0.7
25%	0.75	0.56	0.45	0.33	1	0.6	0.75
30%	0.84	0.63	0.5	0.4	1	0.6	0.8
35%	0.92	0.69	0.55	0.46	1	0.6	0.85
40%	0.97	0.73	0.58	0.52	1	0.6	0.9
45%	0.99	0.74	0.6	0.58	1	0.6	0.95
50%	1	0.75	0.6	0.65	1	0.6	1
55%	1	0.75	0.6	0.71	1	0.6	1
60%	0.99	0.74	0.6	0.77	1	0.6	1
65%	0.96	0.72	0.58	0.82	1	0.6	0.95
70%	0.91	0.68	0.55	0.88	1	0.6	0.9
75%	0.85	0.64	0.51	0.9	1	0.6	0.85
80%	0.75	0.56	0.45	0.9	1	0.6	0.8
85%	0.6	0.45	0.36	0.8	1	0.6	0.75
90%	0.46	0.35	0.28	0.7	1	0.6	0.7
95%	0.28	0.21	0.17	0.6	1	0.6	0.55
100%	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Grupo A: Frijol, maíz, algodón, papas, remolacha, tomate. Grupo B: Olivo, durazno, cirolero, nogal, frutales, caducos. Grupo C: Hortalizas, vid, almendros, ajos. Grupo D: Espárragos, cereales. Grupo E: Pastos, trébol, cultivos de cobertura, plátano. Grupo F: Naranja, limón, toronja y otros cítricos. Grupo G: Caña de azúcar, etc. Tomado de: Jorge Alfredo Luque. Hidrología Aplicada. Ed. Hemisferio Sur S.A.Bs.As. 1981.pg.175.

2.2.9. Análisis de datos

Oropeza (2018) menciona que el análisis de datos estadísticos es una disciplina que se ocupa de recopilar, organizar, interpretar y presentar datos con el objetivo de obtener información significativa y tomar decisiones basadas en evidencia. Esta disciplina utiliza una variedad de técnicas estadísticas y herramientas computacionales para analizar los datos y extraer conclusiones válidas.

El análisis de datos en estadística se puede dividir en varias etapas:

- **Recopilación de datos:** En esta etapa, se recopilan los datos necesarios para el análisis. Los datos pueden obtenerse a través de encuestas, experimentos, registros, bases de datos, entre otros métodos.
- **Organización y limpieza de datos:** Los datos recopilados pueden contener errores, valores atípicos o faltantes. En esta etapa, se realiza la limpieza y organización de los datos para garantizar su calidad y consistencia. Esto puede incluir la eliminación de datos duplicados, corrección de errores y manejo de valores faltantes.
- **Descripción y exploración de datos:** En esta etapa, se utilizan técnicas descriptivas para resumir y explorar los datos. Esto implica calcular medidas estadísticas como la media, la mediana, la desviación estándar y la creación de gráficos y visualizaciones que ayuden a comprender la distribución y las características de los datos.
- **Análisis estadístico:** En esta etapa, se aplican técnicas estadísticas inferenciales o de modelado para obtener conclusiones y extraer información significativa de los datos. Esto

puede incluir pruebas de hipótesis, análisis de regresión, análisis de varianza, entre otros métodos.

- **Interpretación y presentación de resultados:** Una vez realizado el análisis, se interpretan los resultados y se presentan de manera clara y comprensible. Esto puede implicar la redacción de informes, la creación de gráficos, tablas o visualizaciones para comunicar los hallazgos de manera efectiva.

El análisis de datos en estadística es una herramienta fundamental en diversos campos, como la investigación científica, la toma de decisiones empresariales, el análisis de mercado, la planificación estratégica, entre otros. Permite obtener información valiosa a partir de los datos y respaldar la toma de decisiones fundamentadas.

Prueba estadística

Arteaga (2022) menciona que, el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) se emplea para comparar dos o más tratamientos, ya que solo considera dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Supongamos que hay "a", "k" o "t" tratamientos o niveles diferentes de un único factor que se desean comparar. La respuesta observada de cada uno de los tratamientos representa una variable aleatoria, donde y_{ij} denota la j-ésima observación bajo el nivel de factor o tratamiento i. En general, habrá n observaciones bajo el tratamiento i-ésimo.

La prueba de Tukey se utiliza comúnmente en conjunto con el análisis de varianza (ANOVA). Se aplica en experimentos que involucran un gran número de comparaciones.

En esta prueba, se determinan las diferencias entre las medias de las muestras y se comparan con el HSD (Diferencia Honestamente Significativa).

ANOVA

Arteaga (2022) indica, que el análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística utilizada para analizar si existen diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos. Es una extensión de la prueba t de Student, que se utiliza para comparar las medias de dos grupos.

El ANOVA divide la variabilidad total de los datos en dos componentes: la variabilidad entre grupos y la variabilidad dentro de los grupos. Compara la variabilidad entre grupos con la variabilidad dentro de los grupos para determinar si las diferencias observadas entre las medias son estadísticamente significativas o si se deben al azar.

El ANOVA produce un estadístico llamado valor F, que compara las diferencias entre las medias con la variabilidad dentro de los grupos. Si el valor F es grande y el p-valor asociado es menor que un nivel de significancia predefinido (por ejemplo, 0.05), se concluye que al menos una de las medias es significativamente diferente.

El ANOVA puede ser utilizado en diferentes contextos, como estudios clínicos, experimentos científicos o análisis de datos en ciencias sociales. Además, existen diferentes tipos de ANOVA, como el ANOVA de un factor (compara las medias entre grupos), el ANOVA de dos factores (analiza el efecto de dos factores independientes) y el ANOVA de medidas repetidas (para datos relacionados o emparejados).

Tabla 2

Diseño de Bloques Completamente al Azar

Tratamiento	Bloque				
	T1	T2	T3	...	TK
	Y11	Y21	Y31	...	YK1
	Y12	Y22	Y32	...	YK2

	Y1n1	Y2n1	Y3n1	...	YKn1

Nota: Se muestra el diseño de bloques al Azar (DCA) que se utilizaran para comparar dos o más tratamientos considerando dos fuentes de variabilidad los tratamientos y el error aleatorio. Tabla adaptada de ANOVA para el diseño completamente al azar (DCA) (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Tabla 3

Tabla de ANOVA para el DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Fo	Valor -p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^K Y_i^2 - \frac{Y^2}{N}$	K-1	$SC_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{K-1}$	$\frac{SC_{TRAT}}{CM_E}$	P(F>F0)
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N-K	$CM_E = \frac{SC_E}{N-K}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{N}$	N-1			

Nota: Se muestra la cuantificación de la variabilidad, donde Y_i es la suma de las observaciones del tratamiento i, $Y_{..}$ es la suma total de las $N = n_1+n_2+\dots+n_k$ mediciones; estatabla esta reproducida de ANOVA para el DCA (Gutiérrez & De la Vara, 2008, p. 69).

2.3. Definición de términos

Hidroponía: Método de cultivo de plantas sin suelo, utilizando soluciones nutritivas en agua como medio de crecimiento.

Riego: Aplicación controlada de agua a las plantas para mantener adecuados niveles de humedad en el suelo o sistema de cultivo.

Riego tecnificado: Uso de tecnología y sistemas automatizados para optimizar y mejorar el riego, asegurando una distribución eficiente del agua.

Forraje: Plantas cultivadas o silvestres utilizadas como alimento para el ganado.

Ganado: Animales criados y mantenidos por sus productos o para uso agrícola, principalmente en la producción de carne, leche o lana.

Nutriente: Sustancia esencial que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo saludable.

Cultivo: Acto de cultivar y cuidar plantas para obtener productos agrícolas.

Tecnología: Conjunto de conocimientos y herramientas que se utilizan para aplicar la ciencia en la resolución de problemas prácticos.

Emergente: Referido a algo nuevo o en desarrollo, que está surgiendo o haciéndose visible.

Automatización: Proceso de hacer que un sistema o proceso funcione automáticamente, sin intervención humana directa.

Fertilizante: Sustancia aplicada al suelo o a las plantas para proporcionar nutrientes y mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Sintético: Producido artificialmente o mediante síntesis química, en contraposición a lo natural.

Experimental: Relacionado con el estudio o prueba de algo nuevo o no comprobado previamente.

Área foliar: Superficie total de las hojas de una planta, medida en metros cuadrados.

Fibra: Material flexible y resistente que se encuentra en tejidos vegetales o animales, utilizado para diversos fines.

Biomasa: Materia orgánica renovable, como residuos agrícolas o forestales, utilizada como fuente de energía o en procesos industriales.

Urea: Compuesto químico que contiene nitrógeno y se utiliza frecuentemente como fertilizante.

Proteína: Macromolécula compuesta por aminoácidos esenciales para el crecimiento y funcionamiento de los organismos vivos.

Invernadero: Estructura cubierta diseñada para cultivar plantas en un ambiente controlado, protegiéndolas de condiciones climáticas adversas.

Orgánico: Relacionado con productos o sistemas de producción que se basan en métodos naturales y evitan el uso de productos químicos sintéticos.

2.4. Hipótesis

La evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) por dos métodos usando riego por micro aspersión en Huari – Áncash 2023, me permitirá determinar cuál de los dos métodos es el más eficiente en la producción de forraje verde hidropónico

Hipótesis nula (Ho): No hay diferencia significativa en la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) entre los dos métodos de cultivo utilizando riego por micro aspersión en Huari - Ancash, en el año 2023.

Hipótesis alterna (Ha): Existe una diferencia significativa en la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) entre los dos métodos de cultivo utilizando riego por micro aspersión en Huari - Ancash, en el año 2023.

2.5. Variables

Variable dependiente: Producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*)

Variable independiente: Método de cultivo y dotación de agua utilizado usando riego por micro aspersión.

2.6. Operacionalización de las variables

Tabla 4

Operacionalización de las variables

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador
Producción de forraje verde hidropónico	Dependiente	Altura de la planta	cm.
		Producción de forraje verde hidropónico	g/bandeja
		Requerimiento de agua necesario para el cultivo	l/m ² /día
Método de cultivo y dotación de agua	Independiente	Método de la UNALM	descrito
		Método de la FAO	descrito

Nota: La tabla muestra las variables en estudio.

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Materiales

Campo

Materiales

- Libreta de campo.
- 20 kg de semillas de trigo *triticum spp*
- Agua.
- Bandejas para forraje verde hidropónico.
- Termómetro.
- Módulo de aluminio para forraje verde hidropónico.
- Lapiceros.
- Lápiz.
- Etiquetas.

Equipos

- Cámara fotográfica.
- Sistema de riego por micro aspersión (que incluye micro aspersores, tanque de agua, tuberías, conexiones, programador de riego y bomba de agua de 0.5 hp).
- Invernadero.
- Balanza de precisión de 20 kg.
- Smartphone con GPS incorporado.

Gabinete

- Laptop Lenovo core i5.
- USB de 16 gb de almacenamiento
- Impresora láser HP
- Papel bond 1 millar

3.2. Metodología

Localización y descripción del área de investigación

El trabajo se realizó en la sierra norte del Perú, a orillas del Río Mosna, en el distrito de San Marcos, en la provincia de Huari, a una altitud de 3050 m.s.n.m., dentro del departamento de Ancash.

Figura 3

Localización del área de estudio



Nota: Se observa el plano de ubicación del área.

3.2.1. Población y muestra

Población:

La población está conformada por todos los cultivos de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) en Huari – Áncash.

Muestra:

La muestra es la producción de forraje verde hidropónico en 20 bandejas forrajeras para cada uno de los métodos usados (Método de la FAO – Organización de las Naciones

Unidad para la Alimentación y la Agricultura y el Método de la UNALM – Universidad Nacional Agraria La Molina), que fueron analizados durante y al final del proceso de producción.

3.2.2. Tipo de Investigación

Según Hernández et al (2018) la investigación es de tipo aplicada, ya que se utilizaron conocimientos existentes para resolver un problema específico.

Además, se trata de una investigación **cuantitativa**, dado que las variables e indicadores se expresaron en forma numérica. En cuanto al enfoque, se considera **correlacional**, ya que se buscó determinar el grado de relación entre la variable independiente (método de cultivo utilizando riego por micro aspersión) y la variable dependiente (producción de forraje verde hidropónico de trigo *triticum spp*).

3.2.3. Diseño de investigación

Se trata de un diseño **experimental**, ya que se manipuló la variable independiente (método de cultivo utilizado usando riego por micro aspersión) y se analizó los efectos en las variables dependientes (producción de forraje verde hidropónico de trigo *triticum spp*). Además, se utilizó un enfoque **longitudinal** ya que se recopiló datos a lo largo del experimento.

Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completo al azar (DBCA), con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

Los tratamientos en estudio fueron dos, los cuales están identificados de la siguiente manera:

Tratamiento 1: Método de producción de FVH por la FAO

Tratamiento 2: Método de producción de FVH por la UNALM

Descripción de la unidad experimental

Cada unidad experimental constó de 5 banderas forrajeras de 0.28 m. x 0.55 m.

Largo: 0.28 m. x 5 = 1.4 m.

Ancho: 0.55 m.

Área: 0.77 m²

Tratamientos: 02

Repeticiones: 04

Tabla 5

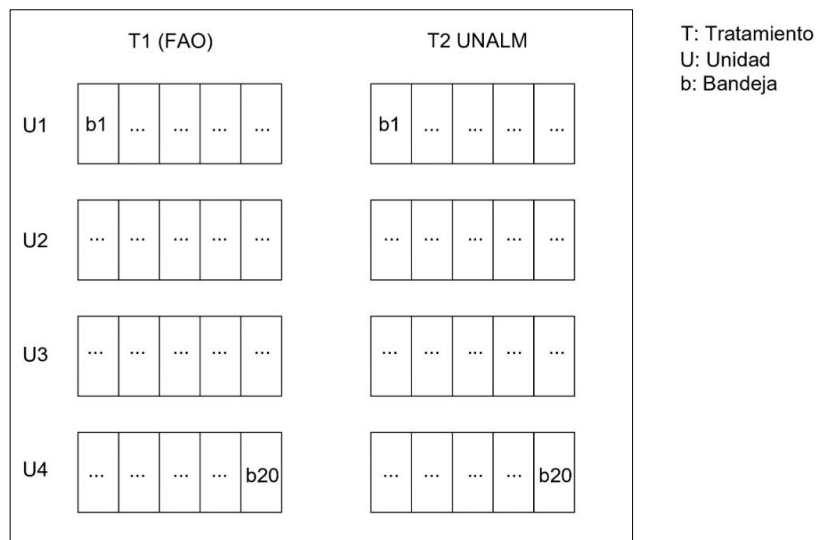
Distribución de muestras para DBCA

Descripción	Tratamiento	
	T1	T2
Unidad 1	M.FAO	M.UNALM
Unidad 2	M.FAO	M.UNALM
Unidad 3	M.FAO	M.UNALM
Unidad 4	M.FAO	M.UNALM
Total U.E.	08	

Nota: Por cada U.E existe 05 bandejas forrajeras.

Figura 4

Croquis del diseño experimental



Nota: Se aprecia los tratamientos, bloques y unidades experimentales

3.3.Procedimiento

3.3.1. Preparación del sistema

- Para el presente proyecto, se contó con un área de 40 m² de terreno bruto, donde se hizo la construcción e instalación de un invernadero convencional de 5 m. de largo y 4 m. de ancho, con un área de 20 m² donde fueron instalados los módulos forrajeros (02), cada uno con 20 bandejas forrajeras de 0.55 m. x 0.28 m.
- Los complementos del módulo forrajero, fueron los componentes hidráulicos, que constaron de tuberías de 1", 1 ½" de PVC, conexiones, codos, llave americana, filtros, bomba de 0.5 hp, tanque de agua con capacidad de 120 litros, timer (de precisión segundos) y 40 micro aspersores.

3.3.2. Forraje verde hidropónico

FAO

- Se realizó la limpieza y desinfección del ambiente de producción y de las bandejas de FVH que se utilizarán para el cultivo y posterior cosecha.
- Todos los instrumentos y equipos utilizados fueron lavados y desinfectados antes de ser utilizados, principalmente las bandejas forrajeras, ya que allí es donde el FVH creció durante el tiempo estimado por el método de la FAO, se utilizó 20 bandejas forrajeras con las medidas mencionadas anteriormente.
- Cálculo de la utilización de la semilla: la FAO recomienda utilizar entre 2.3 kg. y 3.5 kg. por cada m², a una altura promedio de 1.6 cm., la bandeja forrajera tiene un área de 0.154 m²., aplicando regla de tres simple, sacando un promedio de lo recomendado, en cada bandeja forrajera se utilizó 0.447 kg. de semilla, en cada unidad experimental 2.233 kg. de semilla y en el tratamiento 1, 8.932 kg. de trigo *triticum spp.*
- Las semillas fueron lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.9 % que quiere decir 9 ml. de la mencionada solución por cada litro de agua, durante aproximadamente tres minutos, con el objetivo de eliminar hongos y bacterias contaminantes, para posteriormente ser enjuagados
- Las semillas fueron colocadas en una bolsa de plástico permeable durante 24 horas, ya que ello ayudó a la pre germinación de las mismas, dicho tiempo se fraccionó en dos periodos de 12 horas cada uno para posteriormente a las 24 horas, retirarlas, enjuagarlas y dejarlas al oreo a aire libre para que sea oxigenadas tal como lo recomienda la FAO.

- Con las bandejas forrajeras lavadas, desinfectadas y acomodadas en el módulo de FVH, se procedió a introducir el trigo *triticum spp* no superando una altura de 1.6 cm. y se procedió a regar en la cantidad como la FAO indica.
- Para el riego se utilizó 20 micro aspersores, que fueron regados 4 veces al día en una duración de 0.5 minuto cada uno, durante los 04 primeros días se regó con un caudal de 0.1 l/min, por un periodo de 02 minutos al día divididos en 04 partes, posteriormente se regó con el mismo caudal hasta el día de la cosecha del FVH que fue a los 15 días de iniciado el riego, pero con un mayor tiempo de riego que fue de 04.30 minutos. El caudal de los aspersores, previo aforo se determinó que es de 0.1 l/min, con ese dato se programó los horarios de riego que fueron los siguientes:

Tabla 6

Horario de riegos N° 01 - FAO

Riego	Inicio	Final
1°	07.00 am	07.00.30 am
2°	11.00 am	11.00.30 am
3°	02.00 pm	02.00.30 pm
4°	05.00 pm	5.00.30 pm

Nota: El riego programado en el timer fue de 30 segundos cada uno

Tabla 7

Horario de riegos N° 02 - FAO

Riego	Inicio	Final
1°	07.00 am	07.01 am
2°	11.00 am	11.01 am

3°	2.00 pm	2.01 pm
4°	5.00 pm	5.01.30 pm

Nota: El riego programado en el timer fue de un minuto cada uno, excepto el último el cual constó de un minuto y medio.

- Se midió la temperatura del invernadero usando un termómetro durante los 15 días del sembrado y de la cosecha del FVH, teniendo los siguientes datos:

Tabla 8

Temperatura (°C) tomada durante los 15 días - FAO

Nº	Día	T° 8 am	T° 10 am	T° 12 pm	T° 2 pm	T° 4 pm	T° 6 pm	T° 8 pm	Prom.
1	24/11/2023	15	24	26	29	16	14	12	19.4
2	25/11/2023	16	23	25	28	16	13	11	18.9
3	26/11/2023	14	22	26	30	16	12	10	18.6
4	27/11/2023	14	22	27	29	17	11	11	18.7
5	28/11/2023	13	25	25	31	15	10	9	18.3
6	29/11/2023	14	23	25	30	18	13	12	19.3
7	30/11/2023	15	24	22	31	19	12	13	19.4
8	01/12/2023	13	25	21	32	17	12	12	18.9
9	02/12/2023	12	19	24	31	18	13	14	18.7
10	03/12/2023	14	25	22	31	17	14	12	19.3
11	04/12/2023	15	21	23	30	17	11	11	18.3
12	05/12/2023	15	20	26	31	17	8	11	18.3
13	06/12/2023	16	23	25	32	18	12	10	19.4
14	07/12/2023	14	24	24	30	15	12	13	18.9
15	08/12/2023	14	23	23	31	19	11	14	19.3
Temperatura promedio									18.9 °C

Nota: La temperatura fue tomada en intervalo de dos horas para una mayor precisión.

UNALM

- Se realizó la limpieza y desinfección del ambiente de producción y de las bandejas de FVH que se utilizaron para el cultivo y posterior cosecha.
- Todos los instrumentos y equipos utilizados fueron lavados y desinfectados antes de ser utilizados, principalmente las bandejas forrajeras, ya que allí es donde el FVH creció durante el tiempo estimado por el método de la UNALM, se utilizó 20 bandejas forrajeras con las medidas mencionadas anteriormente.
- En este caso, las semillas fueron lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 1.0 % que quiere decir 10 ml. de la mencionada solución por cada litro de agua, después de enjuagarlas, se procedió a remojarlas directamente durante 24 horas, siempre teniendo en cuenta que, si el agua se enturbia, debe cambiarse inmediatamente, pero este no fue el caso
- Cálculo de la utilización de la semilla: la UNALM recomienda utilizar entre 2.5 kg. por cada m^2 , a una altura promedio de 1.5 cm., la bandeja forrajera tiene un área de $0.154 m^2$., aplicando regla de tres simple, sacando un promedio de lo recomendado, en cada bandeja forrajera se utilizó 0.385 kg. de semilla, en cada unidad experimental 1.925 kg. de semilla y en el tratamiento², 7.70 kg. de trigo *triticum spp.*
- Con las bandejas forrajeras lavadas, desinfectadas y acomodadas en el módulo de FVH, se procedió a introducir el trigo *triticum spp* no superando una altura de 1.5 cm. y se procedió a regar en la cantidad como la UNALM indica.
- Para el riego se utilizó 20 micro aspersores, que fueron regados 4 veces al día en una duración de 1 minuto cada uno, durante los 15 días se regó con un caudal de 0.1 l/min, por un periodo de 04 minutos al día divididos en 04 partes. El caudal de los aspersores, previo

aforo se determinó que es de 0.1 l/min, con ese dato se programó los horarios de riego que fueron los siguientes:

Tabla 9

Horario de riegos - UNALM

Riego	Inicio	Final
1º	07.00 am	07.01 am
2º	10.00 am	10.01 am
3º	1.00 pm	1.01 pm
4º	3.00 pm	3.01 pm

Nota: El riego programado en el timer fue de un minuto cada uno

- Se midió la temperatura del invernadero usando un termómetro durante los 12 días del sembrado y de la cosecha del FVH, teniendo los siguientes datos:

Tabla 10

Temperatura (°C) tomada durante los 12 días

Nº	Día	Tº 8 am	Tº 10 am	Tº 12 pm	Tº 2 pm	Tº 4 pm	Tº 6 pm	Tº 8 pm	Prom.
1	09/12/2023	16	25	27	30	17	15	13	20.4
2	10/12/2023	17	24	26	29	17	14	12	19.9
3	11/12/2023	15	23	27	31	17	13	11	19.6
4	12/12/2023	15	23	28	30	18	12	12	19.7
5	13/12/2023	14	26	26	32	16	11	10	19.3
6	14/12/2023	15	24	26	31	19	14	13	20.3
7	15/12/2023	16	25	23	32	20	13	14	20.4
8	16/12/2023	14	26	22	33	18	13	13	19.9
9	17/12/2023	15	25	22	29	20	15	14	20.0
10	18/12/2023	18	26	25	28	21	16	13	21.0
11	19/12/2023	16	23	23	29	18	15	12	19.4
12	20/12/2023	13	20	25	32	19	14	15	19.7
Temperatura promedio									20.0 °C

Nota: La temperatura fue tomada en intervalo de dos horas para una mayor precisión.

- Para determinar la producción del FVH de trigo *triticum spp* se realizó el pesaje de cada una de las bandejas forrajeras para así también determinar la relación costo/beneficio con la siguiente ecuación

$$\% \text{ Aumento} = (\text{Diferencia de Peso} / \text{Peso Inicial}) \times 100$$

- Para determinar la altura alcanzada del FVH de *triticum spp* se procedió a medir al 25 %, 50 %, 75 % y 100 % del desarrollo de la semilla en cada uno de los métodos, de la siguiente manera:

Tabla 11

Tiempo en el que se midió la altura del FVH

Tiempo	Método	
	FAO (días)	UNALM (días)
25 %	4	3
50 %	8	6
75 %	11	9
100 %	15	12

Nota: el tiempo medido se considera en días

3.3.3. Cálculo de la demanda de agua con fines de riego en el sector San Marcos – Huari – Áncash

Tabla 12

Periodo vegetativo del trigo (triticum spp)

Cultivo: Trigo (<i>triticum spp</i>)	
Periodo Vegetativo:	5
El cultivo pertenece al grupo D	

Nota: En la Tabla 1 se aprecia que los cereales pertenecen al grupo D

Tabla 13

Cálculo del Kc interpolando

% Crec.	Kc.	Interpolación
0%	0	
5%	0.08	
10%	0.15	0.14
15%	0.19	
20%	0.27	
25%	0.33	
30%	0.4	0.40
35%	0.46	
40%	0.52	
45%	0.58	
50%	0.65	0.65
55%	0.71	
60%	0.77	
65%	0.82	
70%	0.88	0.84
75%	0.9	
80%	0.9	
85%	0.8	
90%	0.7	0.45
95%	0.6	
100%	0	

Nota: Se obtiene cinco valores del kc al tener un periodo vegetativo de 05 meses

Tabla 14

Valores del Kc de acuerdo al mes

Mes	Kc
Noviembre	0.135
Diciembre	0.395
Enero	0.645
Febrero	0.835
Marzo	0.450

Nota: Se aprecia el kc del trigo (*triticum spp*)

Tabla 15

Cédula de cultivo

Cultivo	Area (Ha)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Trigo	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Nota: Se considera 01 hectárea con fines académicos

Tabla 16

Uso consuntivo kc

Cultivo	Area (Ha)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Trigo	1	0.645	0.835	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0.135	0.395
Área mensual	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Kc ponderado		0.645	0.835	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0.135	0.395

Nota: Se aprecia el kc interpolado anteriormente

- **Cálculo de la evapotranspiración potencial (Etp) usando el Método de Heargraves**

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial

TMF : Temperatura media mensual (°F)

MF : Factor mensual de latitud

CE : Factor de corrección por altitud

$$CE = 1 + 0.04 * (\text{altitud en m.s.n.m.} / 2000)$$

$$CH = 0.166 * (100 - HR)^{0.5} \quad \text{SI } HR > 64\%$$

$$CH = 1 \quad \text{SI } HR < 64$$

Tabla 17

Temperatura media mensual en °C estación Chavín de Huántar (TMC)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Promedio	15.11	15.28	15.51	15.37	15.76	15.81	15.57	16.07	16.71	16.64	15.97	15.43

Nota: La temperatura se expresa en el cuadro en °C (grados centígrados)

Tabla 18

Temperatura media mensual en °F de Chavín de Huántar (TMF)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Promedio	59.21	59.51	59.92	59.66	60.37	60.45	60.03	60.93	62.08	61.95	60.74	59.77

Nota: La temperatura se expresa en el cuadro en °F (grados fahrenheit)

Tabla 19

Humedad relativa en Chavín de Huántar (HR)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Promedio	83.00	82.79	83.83	81.23	74.89	61.16	57.93	54.71	61.17	67.60	71.66	73.17

Nota: La humedad relativa se expresa en porcentaje

Tabla 20

Factor de corrección por HR (CH)

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Promedio	0.68	0.69	0.67	0.72	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.88	0.86

Nota: Se observa que para los meses de junio, julio, agosto y setiembre no fue necesario realizar la corrección por HR al ser menor que 64%.

Tabla 21

Factor mensual de latitud (MF)

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.825	2.028	2.201	2.453	2.448	2.540
9.5230	2.553	2.259	2.358	2.052	1.879	1.696	1.806	2.015	2.196	2.458	2.461	2.559
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577

Nota: Tomado de la Tabla de Evapotranspiración Potencial de Hargreaves (Ver Anexo 8.7)

Tabla 22

Evapotranspiración potencial

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Días (Mes)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
TMF	59.21	59.51	59.92	59.66	60.37	60.45	60.03	60.93	62.08	61.95	60.74	59.77
CH	0.68	0.69	0.67	0.72	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.88	0.86
CE	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
MF	2.55	2.26	2.36	2.05	1.88	1.70	1.81	2.01	2.20	2.46	2.46	2.56
ETP(mm/mes)	109.97	98.37	100.25	93.58	100.30	108.98	115.22	130.49	144.88	152.89	140.41	139.77
ETP (mm/día)	3.55	3.51	3.23	3.12	3.24	3.63	3.72	4.21	4.83	4.93	4.68	4.51

Nota: Con el ETP podemos calcular la ETR

Tabla 23

Evapotranspiración real (ETR)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Kc	0.65	0.84	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.40
ETP (mm/mes)	109.97	98.37	100.25	93.58	100.30	108.98	115.22	130.49	144.88	152.89	140.41	139.77
ETR (mm/mes)	70.93	82.14	45.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.95	55.21

Nota: Se observa que no existe ETR en los meses donde no se considera el periodo vegetativo

Tabla 24

Cuadro para obtener la PPE

Pp (mm)	Pp Efec %
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
Más de 155	5

Nota: tomado de User United Bureau of Reclamation

Tabla 25

Precipitación efectiva (mm)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pp (mm)	71.67	72.53	73.39	73.18	72.53	71.24	71.46	48.64	65.43	57.25	54.02	63.06
Pe (mm)	59.92	60.63	61.33	61.16	60.63	59.57	59.75	40.53	54.80	48.10	45.37	52.86

Nota: Con los datos de la Tabla 12 a la presente tabla (Tabla 25), se calcula la demanda de agua, el cual se ve reflejado en los resultados

3.3.4. Plan de procesamiento y análisis de datos

Se utilizó herramientas estadísticas como Microsoft Office Excel y SPSS para almacenar y procesar los datos. Además, se empleó el método de comparación múltiple ANOVA (Análisis de Varianza) y el método de Tukey.

La Prueba de Tukey, también conocida como el procedimiento de Tukey o el test de Tukey, es una técnica estadística utilizada en el análisis de datos para comparar las medias de múltiples grupos. Esta prueba es especialmente útil cuando se realiza un análisis de varianza (ANOVA) y se encuentra una diferencia significativa en las medias entre grupos. La Prueba de Tukey se utilizó para determinar cuáles de las medias de los grupos son significativamente diferentes entre sí.

Para el plan de procesamiento en el programa SPSS se siguieron los siguientes pasos, teniendo en cuenta la hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa en la producción de forraje verde hidropónico de trigo *triticum spp* entre los dos métodos de cultivo utilizando riego por micro aspersión en Huari - Ancash, en el año 2023.
- Hipótesis alterna (H_a): Existe una diferencia significativa en la producción de forraje verde hidropónico de trigo *triticum spp* entre los dos métodos de cultivo utilizando riego por micro aspersión en Huari - Ancash, en el año 2023.

Paso 1. Como primer paso las mediciones recogidas de las muestras se sometieron a la prueba de normalidad, la cual nos indicó si los datos se ajustan a una distribución normal.

En el proceso inicial, se realizó un análisis de normalidad para las mediciones recopiladas de las muestras. Este análisis determinó si los datos siguieron una distribución normal.

De la prueba de normalidad se obtuvo

- P Valor < 0.05 , opta una distribución no normal
- P Valor ≥ 0.05 , opta una distribución normal.

Paso 2. Si las mediciones siguen una distribución normal y las varianzas son iguales, para el análisis de la prueba de hipótesis se usará el ANOVA de 1 factor, debido a que tenemos 1 variable independiente. Para determinar si hay diferencia significativa entre los porcentajes de producción de forraje verde hidropónico para los diferentes tratamientos se comparará el P valor (sig.) con el $\alpha = 0.05$.

- Valor P < 0.05 , rechaza la hipótesis nula e indica que las medias son diferentes.
- Valor P ≥ 0.05 , no rechaza la hipótesis nula e indica que las medias son iguales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

4.1.1. Volumen de riego por micro aspersión

Tabla 26

Demanda de agua

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Días (mes)	31	28	31								30	31
Área (ha)	1.00	1.00	1.00								1.00	1.00
Etp (mm/mes)	109.97	98.37	100.25								140.41	139.77
Kc	0.65	0.84	0.45								0.14	0.40
Etr (mm/mes)	70.93	82.14	45.11								18.95	55.21
Pp (mm)	71.67	72.53	73.39								54.02	63.06
Pe (mm)	59.92	60.63	61.33								45.37	52.86
Dem. bruta (mm)	11.01	21.51	16.22								26.42	2.35
Eficiencia	70.00	70.00	70.00								70.00	70.00
Dem. neta (mm3)	0.16	0.31	0.23								0.38	0.03
Fac. de seguridad	0.85	0.85	0.85								0.85	0.85
Dem. proy. (mm3)	0.18	0.36	0.27								0.44	0.04
Dem. proy.(lps)	0.07	0.15	0.10								0.17	0.01
M. riego (lt/seg/ha)	0.07	0.15	0.10								0.17	0.01

Nota: 0.171 l/seg/ha son 1.48 l/m²/día.

En la Tabla 26 se aprecia la demanda de agua necesaria calculada para el cultivo de trigo (*triticum spp*) en el sector de San Marcos – Huari, el cual resultó en 0.171 l/seg/ha, que convertido a las unidades que se trabaja el presente informe es 1.48 l/m²/día.

- **FAO (Volumen de agua calculado por el Método de la FAO)**

Tabla 27

Volumen de agua (l/m²/día) durante los 4 primeros días - FAO

UE	Q (l/min)	Nº Emis.	T (min/día)	V (l/día)	Área (UE) m ²	V (l/m ² /día)	V (l/ban/día)	Área Band. m ²
U1	0.1	5	2	1	0.77	1.299	0.20	0.154

Nota: el tiempo medido se considera en días

La FAO recomienda que durante los primeros cuatro días se riegue con un volumen de hasta 1.5 l/m²/día. Durante los primeros cuatro días se regó la unidad experimental (UE) con 05 aspersores de caudal 0.1 l/min durante dos minutos al día en total, programados en 4 riegos (cada uno de 30 segundos), haciendo un volumen total de 0.20 l/bandeja/día o 1.299 l/m²/día, lo cual coincide con lo recomendado por la FAO.

Tabla 28

Volumen de agua (l/m²/día) durante los 11 días restantes - FAO

UE	Q (l/min)	Nº Emis.	T (min/día)	V (l/día)	Área (UE) m ²	V (l/m ² /día)	V (l/ban/día)	Área Band. m ²
U1	0.1	5	4.5	2.25	0.77	2.92	0.45	0.154

Nota: el tiempo medido se considera en días

La FAO menciona que después del primer periodo de riego se aumente gradualmente el volumen a 2.50 – 3.00 l/m²/día. Durante los primeros once días restantes se regó la unidad experimental (UE) con 05 aspersores de caudal 0.1 l/min durante cuatro minutos y medio al día en total, programados en 4 riegos (tres de un minuto y el cuarto de un minuto y medio), haciendo un volumen total de 0.45 l/bandeja/día o 2.920 l/m²/día, lo cual coincide con lo recomendado por la FAO.

Tabla 29

Volumen de agua usado durante los 15 días por unidad experimental - FAO

UE	Prog. 1			Prog. 2			VT (l) a 15 días	V (l/m ²)	V (l/m ² /día)
	V (l/día)	Días	Subtotal	V (l/día)	Días	Subtotal			
U1	1	4	4	2.25	11	24.75	28.75	37.34	2.49

Nota: El área de la unidad experimental es de 0.77 m².

En la Tabla 29 podemos ver que se realizó un gasto total de 28.75 litros por unidad experimental, el cual tiene un área de 0.77 m², entonces al dividir esos dos valores, obtenemos el valor de 37.34 l/m², y al haber realizado el riego por 15 días, tenemos que en promedio se utilizó 2.49 l/m²/día.

- **UNALM (Volumen de agua calculado por el Método de la UNALM)**

Tabla 30

Volumen de agua (l/día) durante los 12 días - UNALM

UE	Q (l/min)	Nº Emis.	T (min/día)	V (l/día)	Área (UE) m ²	V (l/m ² /día)	V (l/ban/día)	Área Band. m ²
U1	0.1	5	4	2	0.77	2.60	0.40	0.154

Nota: el tiempo medido se considera en días

La UNALM recomienda que el riego se debe realizar con un volumen entre 2.5 – 3.00 l/m²/día desde el inicio de la siembra hasta la cosecha de la misma. Se regó la unidad experimental (UE) con 05 aspersores de caudal 0.1 l/min durante cuatro minutos al día en total, programados en 4 riegos (cada uno de un minuto), haciendo un volumen total de 0.40 l/bandeja/día o 2.60 l/m²/día, lo cual coincide con lo recomendado por la UNALM.

Tabla 31

Volumen de agua usado durante los 12 días por unidad experimental - UNALM

UE	Prog. 1			Prog. 2			VT (l) a 12 días	V (l/m ²)	V (l/m ² /día)
	V (l/día)	Días	Subtotal	V (l/día)	Días	Subtotal			
B1	2	12	24	0	0	0	24	31.17	2.60

Nota: El área de la unidad experimental es de 0.77 m².

En la Tabla 31 podemos ver que se realizó un gasto total de 24.00 litros por unidad experimental, el cual tiene un área de 0.77 m², entonces al dividir esos dos valores, obtenemos el valor de 31.17 l/m², y al haber realizado el riego por 12 días, tenemos que en promedio se utilizó 2.60 l/m²/día, valor que se encuentra entre el rango recomendado por la UNALM.

4.1.2. Producción del forraje verde hidropónico

Tabla 32

Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la producción final

		I	II	III	IV	Xi	Promedio
Operadores	T1	1283.60	1423.80	1413.20	1415.60	5536.20	1384.05
	T2	1583.40	1543.40	1485.00	1449.80	6061.60	1515.40
	Yi	2867.00	2967.20	2898.20	2865.40		
	Promedio	1433.50	1483.60	1449.10	1432.70		
N		8					
k		2					
b		4					

Nota: Se aprecia I, II, III y IV como bloques (UE). La unidad de los datos es gramos.

- N : Total de datos
- K : Los métodos (tratamientos)
- B : Niveles del bloque (unidad experimental)
- Yi : Sumatoria de los operadores
- Xi : Sumatoria de cada método
- T : Tratamiento

En la Tabla 32, se expresa en I, II, III y IV el promedio del peso resultante de las bandejas forrajeras de las unidades experimentales de ambos tratamientos (FAO y UNALM).

Tabla 33

Tabla ANOVA respecto a la producción del forraje verde hidropónico

Tabla Anova DBCA						
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FC	Valor-p	Sig
Tratamientos	3402.02	1	3402.012	0.50	10.13	Ns
Bloques	34505.65	3	11501.88	1.66	9.28	Ns
Error	20748.90	3	6916.30			
Total	58656.56	7				

Nota: La unidad de los datos utilizados es gramos/bandeja.

Al haber realizado el pesaje de las bandejas de forraje verde hidropónico y sintetizado los datos en la tabla ANOVA, se aprecia que no existe diferencias estadísticas significativas en los resultados de ambos tratamientos, resultando no necesaria una prueba de medias.

4.1.3. Altura alcanzada por el forraje verde hidropónico

- **Al 25 % (A los 4 días para el Método FAO y 3 días para el Método UNALM)**

Tabla 34

Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 25 %

		I	II	III	IV	Xi	Promedio
Operadores	T1	2.25	2.15	2.19	2.20	8.78	2.20
	T2	2.21	2.11	2.06	2.01	8.38	2.10
Yi		4.45	4.25	4.25	4.21		
Promedio		2.23	2.13	2.12	2.10		
N	8						
k	2						
b	4						

Nota: Se aprecia I, II, III y IV como bloques (UE)

- N : Total de datos
- K : Los métodos (tratamientos)
- B : Niveles del bloque (unidad experimental)
- Yi : Sumatoria de los operadores
- Xi : Sumatoria de cada método
- T : Tratamiento

Para la Tabla 34, se muestrearon 15 plántulas de cada unidad experimental en cada tratamiento, para el caso del método de la FAO se hizo la medición de la altura a los 4 días de haber empezado el riego y en el caso del método de la UNALM a los 3 días, la altura tomada fue en centímetros, en los operadores se aprecia el promedio de la altura de las 15 muestras.

Tabla 35

Análisis de Varianza en la altura del forraje al 25 % en cada uno de los métodos

Tabla Anova DBCA						
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FC	Valor-p	Sig
Tratamientos	0.018	1	0.018	6.65	10.128	Ns
Bloques	0.020	3	0.007	2.41	9.277	Ns
Error	0.008	3	0.003			
Total	0.047	7				

Nota: Se observa que no existe diferencias significativas

Podemos observar en la Tabla 35 que el valor del f calculado (fc) es menor que el valor del f teórico (valor-p), entonces estadísticamente a un 95% de confianza podemos decir que no existe diferencias significativas en la medición de la altura de la planta al 25 % del total de días de la cosecha.



- **Al 50 % (A los 8 días para el Método FAO y 6 días para el Método UNALM)**

Tabla 36

Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 50 %

		I	II	III	IV	Xi	Promedio
Operadores	T1	6.35	6.18	6.16	6.03	24.72	6.18
	T2	6.31	6.35	5.99	6.13	24.77	6.19
	Yi	12.65	12.53	12.15	12.16		
	Promedio	6.33	6.26	6.08	6.08		
N		8					
k		2					
b		4					

Nota: Se aprecia I, II, III y IV como bloques (UE)

Para la Tabla 36, de igual forma, se muestrearon 15 plántulas de cada unidad experimental en cada tratamiento, para el caso del método de la FAO se hizo la medición de la altura a los 8 días de haber empezado el riego y en el caso del método de la UNALM a los 6 días, la altura tomada fue en centímetros, en los operadores se aprecia el promedio de la altura de las 15 muestras.

Tabla 37

Análisis de Varianza en la altura del forraje al 50 % en cada uno de los métodos

Tabla Anova DBCA						
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FC	Valor-p	Sig
Tratamientos	0.098	1	0.0979	9.016	10.128	Ns
Bloques	0.000	3	0.0001	0.011	9.277	Ns
Error	0.033	3	0.0109			
Total	0.131	7				

Nota: Se observa que no existe diferencias significativas

Podemos observar en la Tabla 37 que el valor del f calculado (f_c) es menor que el valor del f teórico (valor- p), entonces estadísticamente a un 95% de confianza podemos decir que no existe diferencias significativas en la medición de la altura de la planta al 50 % del total de días de la cosecha.

- **Al 75 % (A los 11 días para el Método FAO y 9 días para el Método UNALM)**

Tabla 38

Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 75 %

		I	II	III	IV	Xi	Promedio
Operadores	T1	12.45	12.13	12.39	12.11	49.08	12.27
	T2	12.41	12.45	12.28	12.07	49.21	12.30
	Yi	24.85	24.58	24.67	24.19		
	Promedio	12.43	12.29	12.33	12.09		
N		8					
k		2					
b		4					

Nota: Se aprecia I, II, III y IV como bloques (UE).

Para la Tabla 38, se muestrearon 15 plántulas de cada unidad experimental en cada tratamiento, para el caso del método de la FAO se hizo la medición de la altura a los 11 días de haber empezado el riego y en el caso del método de la UNALM a los 9 días, la altura tomada fue en centímetros, en los operadores se aprecia el promedio de la altura de las 15 muestras.

Tabla 39*Análisis de Varianza en la altura del forraje al 75 % en cada uno de los métodos*

Tabla Anova DBCA						
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FC	Valor-p	Sig
Tratamientos	0.118	1	0.118	6.529	10.128	Ns
Bloques	0.002	3	0.001	0.037	9.277	Ns
Error	0.054	3	0.018			
Total	0.175	7				

Nota: Se observa que no existe diferencias significativas

Se aprecia en la Tabla 39 que el valor del f calculado (fc) es menor que el valor del f teórico (valor-p), entonces estadísticamente a un 95% de confianza podemos decir que no existe diferencias significativas en la medición de la altura de la planta al 75 % del total de días de la cosecha.

- **Al 100 % (A los 15 días para el Método FAO y 12 días para el Método UNALM)**

Tabla 40*Tabla de los operadores por tratamiento y bloque respecto a la altura alcanzada al 100 %*

		I	II	III	IV	Xi	Promedio
Operadores	T1	19.35	19.11	18.81	18.75	76.02	19.01
	T2	20.31	20.35	19.67	19.87	80.19	20.05
Yi		39.65	39.46	38.48	38.62		
Promedio		19.83	19.73	19.24	19.31		

Nota: Se aprecia I, II, III y IV como bloques

Para la Tabla 40, se muestrearon 15 plántulas de cada unidad experimental en cada tratamiento, para el caso del método de la FAO se hizo la medición de la altura a los 15 días de haber empezado el riego y en el caso del método de la UNALM a los 12 días, la

altura tomada fue en centímetros, en los operadores se aprecia el promedio de la altura de las 15 muestras.

Tabla 41

Análisis de Varianza en la altura del forraje al 100 % en cada uno de los métodos

Tabla Anova DBCA						
Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FC	Valor-p	Sig
Tratamientos	0.521	1	0.521	36.307	10.128	*
Bloques	2.177	3	0.726	50.578	9.277	*
Error	0.043	3	0.014			
Total	2.741	7				

Nota: Se observa que sí existe diferencias estadísticas significativas

En la Tabla 41, se observa que existe diferencias estadísticas significativas tanto como en el tratamiento y en los bloques analizados, por lo que se realizó una prueba de medias, el cual es la prueba de Tukey que tiene como objetivo realizar comparaciones específicas entre pares de grupos y confirmar la existencia o inexistencia de diferencias significativas.

Tabla 42

Prueba de Tukey de la altura del forraje al momento de la cosecha en ambos métodos (100 %)

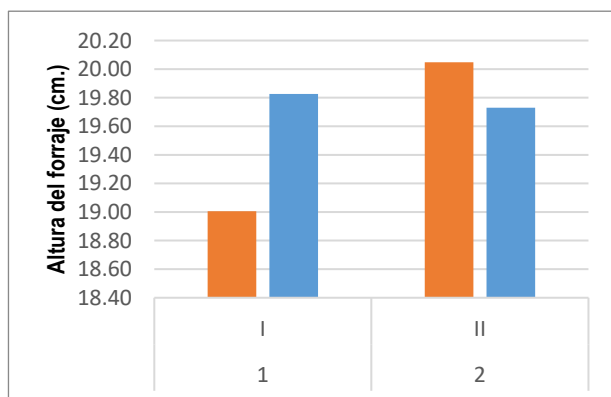
Tratamiento	Operador (UE)	Media O	DS O	Media T	DSM T
1	I	19.83	0.679	19.01	0.278
2	II	19.73	0.872	20.05	0.333
	III	19.24	0.603		
	IV	19.31	0.797		

Nota: Se observa que sí existe diferencias estadísticas significativas

Media T : Media del tratamiento
 DS T : Desviación estándar del tratamiento
 Media O : Media del operador
 DS O : Desviación estándar del operador

Figura 5

Gráfico de la prueba de Tukey de la altura del forraje al momento de la cosecha en ambos métodos (100 %)



Nota: Se aprecia que existe diferencias significativas en el bloque (unidad experimental) I y II.

Con la prueba de Tukey podemos confirmar que efectivamente, tal como mencionaba la Tabla ANOVA, sí existe diferencias estadísticas significativas usando un 95 % de confianza, en la medida de las alturas del forraje en ambos métodos cuando están al 100 % de su producción teórica.

- **Resultados de la calidad de agua**

N° MUESTRA	281-a
TIPO	Riego
pH	6.98
CE dS/m	0.11
CALCIO me/l	1.64
MAGNESIO me/l	0.71
POTASIO me/l	0.08
SODIO me/l	0.01
SUMA DE CATIONES	2.44
NITRATOS me/l	N.D.

CARBONATOS	me/l	0.00
BICARBONATOS	me/l	0.00
SULFATOS	me/l	0.09
CLORUROS	me/l	1.13
SUMA DE ANIONES		1.22
SODIO	%	0.41
RAS		0.01
BORO	ppm	ND
Clasificación		C1S1

En la tabla de “Resultados de Agua”, la muestra fue tomada el 10 de diciembre del 2023, fue analizada en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, los valores mencionados nos indica que la muestra se caracteriza por tener una reacción neutra, se encuentra ubicado en la clase C1 y S1 (Ver Tabla de Interpretación: Anexo 4).

4.2.Discusión

Con base en los resultados obtenidos de la investigación sobre el forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*), observamos que se logró los objetivos utilizando dos métodos diferentes con los criterios establecidos por la FAO y la UNALM.

- **Del volumen de agua**

Según los datos recopilados, se observó un gasto de agua de 2.49 l/m²/día utilizando el método propuesto por la FAO, cumpliendo con lo especificado por el mismo que menciona que se debe regar con un volumen de 1.5 l/m²/día durante 4 días y entre 2.5 - 3 l/m²/día, mientras que el método de la UNALM arrojó un consumo ligeramente superior de 2.59 l/m²/día y esta teoría menciona que se debe usar un volumen entre 2.50 - 3.00 l/m²/día. Estos resultados sugieren que, en el contexto de esta investigación, el método propuesto por la FAO podría ser más eficiente en términos de

consumo de agua para el cultivo de forraje hidropónico de trigo en comparación con el método de la UNALM. Sin embargo, es crucial considerar otras variables y factores ambientales que podrían influir en estas cifras, además de analizar los otros resultados planteados en los objetivos de la presente investigación tales como la altura y el peso obtenido de cada bandeja de forraje.

El cálculo de la demanda de agua con valores de k_c en la región, nos sugiere que se debe usar el primer mes 1.48 l/m²/día (ver Tabla 26), lo cual difiere con lo recomendado por la FAO y la UNALM, por lo que se debe tener en cuenta las razones de esta diferencia, sin embargo, Zagal (2016), menciona que un sistema de forraje verde hidropónico requiere una cantidad de agua parcialmente mayor debido a factores como la mayor evaporación en ambientes de invernadero, mayor necesidad de oxígeno, mayor absorción de nutrientes y la necesidad de una mayor tasa de crecimiento ya que uno de los objetivos de la producción de el mismo, es el tener un crecimiento rápido y abundante del forraje.

- **De la producción de forraje verde hidropónico**

En el marco del segundo resultado de la investigación, enfocado en determinar la producción de forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp.*) utilizando los métodos prescritos por la FAO y la UNALM, los resultados obtenidos indican que, en promedio, la producción de forraje verde por bandeja utilizando el método FAO fue de 1384.05 gramos, mientras que con el método UNALM fue ligeramente superior, alcanzando un promedio de 1515.40 gramos. Esta diferencia en la producción podría tener implicaciones prácticas para los agricultores y gestores de sistemas hidropónicos.

Sotelo (2020), menciona que utilizando un volumen de 2.2 l/m²/día, en la producción de forraje verde hidropónico de cebada, obtuvo una media de 10.38 kg/m², el cual sería un promedio de 1647.8 g/bandeja, lo cual resulta un 19.05% más en comparación con el método de la FAO y un 8.74% más en comparación con el método de la UNALM.

No obstante, al someter los datos a un análisis de varianza (ANOVA), se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas entre las producciones obtenidas mediante ambos métodos. Esto implica que, bajo las condiciones y parámetros de la investigación, las variaciones observadas en la producción de forraje verde no son estadísticamente significativas y podrían atribuirse a variabilidades inherentes al proceso de cultivo.

Ello sugiere que, desde una perspectiva estadística, la elección entre el método FAO y el método UNALM no afecta significativamente la producción de forraje verde de trigo en un sistema hidropónico. No obstante, se recomienda considerar otros aspectos prácticos, económicos y operativos al seleccionar el método más apropiado para la producción en el contexto específico del cultivo hidropónico de trigo.

- **De la altura alcanzada en la producción de forraje verde hidropónico**

Basándonos en los resultados obtenidos al abordar el tercer objetivo de la investigación, que se centró en determinar la altura óptima para la cosecha del forraje verde de trigo utilizando dos métodos diferentes (FAO y UNALM), se observa que, según el método de la FAO, se sugiere la cosecha a los 15 días, mientras que el método UNALM indica que la cosecha óptima sería a los 12 días. FAO menciona que una altura promedio a los 15 días es de 18 cm, mientras que la UNALM menciona una altura entre 18 cm. y 20 cm. Estas recomendaciones se basan en la

medición de la altura de las plantas en diferentes etapas de desarrollo, representadas por el 25 %, 50 %, 75 % y 100 % del crecimiento, los cuales fueron para el método de la FAO a los 4, 8, 12 y 15 días respectivamente y para el método de la UNALM a los 3, 6, 9 y 12 días respectivamente.

Al aplicar análisis de varianza (ANOVA) a los datos recopilados, se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas en las medidas de altura para el 25 % (2.20 cm. y 2.10 cm.), 50 % (6.18 cm. y 6.19 cm.) y 75 % (12.27 cm. y 12.30 cm) del desarrollo entre los dos métodos. Sin embargo, para el 100 % (19.01 cm. y 20.05 cm), se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo que llevó a realizar la prueba de Tukey.

La prueba de Tukey confirmó que, efectivamente hay diferencias estadísticas significativas en las medidas de altura del forraje cuando se utiliza el método FAO en comparación con el método UNALM en el momento de la cosecha al 100 % de desarrollo de la planta.

Pacco (2018), al realizar forraje verde hidropónico de cebada y avena con fitohormonas obtuvo una altura de 16.83 cm. y 15.27 cm. y concluyó que los fitoreguladores no son cruciales en la producción del mismo.

La influencia de la radiación solar en el crecimiento del forraje verde hidropónico de trigo (*triticum spp*) en condiciones de invernadero es un aspecto crucial a considerar en la producción agrícola. En el contexto de este estudio, donde se utilizaron bandejas distribuidas verticalmente, se pudo observar una pequeña disparidad en el crecimiento del forraje entre las bandejas superiores e inferiores, lo cual sugiere una relación directa entre la exposición a la radiación solar y el desarrollo de las plantas.

V. CONCLUSIONES

Se calculó y discutió el requerimiento de agua necesario para el cultivo en cada uno de los métodos FAO (1.30 l/m²/día los primeros cuatro días y 2.92 l/m²/día los días restantes) y UNALM (2.60 l/m²/día), además se analizó la demanda de agua necesaria para el mismo cultivo en la región durante el primer mes de su periodo vegetativo.

Se determinó la producción de forraje verde hidropónico por cada uno de los métodos, el cual fue medido por bandeja, obteniendo 1384.05 gramos/bandeja en promedio y un total de 27681.00 g. de forraje verde hidropónico por el método de la FAO. 1515.04 gramos/bandeja en promedio por el método de la UNALM y 30308.00 g. de forraje verde hidropónico por el método de la UNALM; cabe mencionar que por cada bandeja se usó 0.447 kg. de semilla de trigo (*triticum spp*), 2.233 kg. por cada unidad experimental y 8.932 kg. por tratamiento respecto a la FAO y 0.385 kg. en cada bandeja, 1.925 kg. por cada unidad experimental y 7.70 kg. por tratamiento respecto a la UNALM, respecto a la FAO se obtuvo una producción proporcional a 1:3 y respecto a la UNALM 1:4.

La altura del forraje, en ambos métodos fue medido al 25 %, 50 % 75 % y 100 % de los días de la cosecha sugeridos por la bibliografía, el cual fue para el método de la FAO a los 4, 8, 11 y 15 días, obteniendo una altura promedio de 2.20 cm., 6.18 cm., 12.27 cm. y 19.01 cm. y para la UNALM a los 3, 6, 9 y 12 días obteniendo una altura promedio de 2.10 cm., 6.19 cm., 12.30 cm. y 20.05 cm.

VI. RECOMENDACIONES

Monitoreo continuo, implementar un sistema de monitoreo continuo para el desarrollo de las plantas, especialmente en la fase de crecimiento del 100 %.

Optimización de recursos hídricos, a pesar de la ligera ventaja en eficiencia del agua del método FAO, se recomienda una gestión cuidadosa y eficiente del agua en ambos métodos.

Validación práctica, realizar pruebas prácticas a escala piloto en condiciones específicas del lugar de cultivo para validar la aplicabilidad de los resultados obtenidos en la investigación. Las condiciones climáticas y ambientales pueden influir significativamente en la eficacia de los métodos.

Análisis económico, realizar un análisis económico detallado que tome en cuenta los costos asociados con cada método, incluyendo los insumos de agua, nutrientes, y cualquier equipo especializado. Esto proporcionará una visión integral de la rentabilidad y viabilidad económica de la implementación de cada método en el contexto específico de la operación agrícola.

Se recomienda que, en futuras investigaciones en el campo de la producción de forraje verde hidropónico, se considere comparas más detalladamente diferentes métodos de cálculo del volumen de agua necesario. Además de los métodos analizados en este estudio, se sugiere incorporar el enfoque de Hargreaves, que utiliza la evapotranspiración para determinar las necesidades hídricas de los cultivos. Esta comparación adicional permitirá una evaluación exhaustiva de la eficacia y viabilidad de los métodos de producción, así como proporcionar información sobre cómo diferentes enfoques de manejo del agua afectan al rendimiento y calidad del forraje.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, G. (2016). *Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. Compend. Cienc. Vet. 6(1). 1-2.*
<https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10>
- Álvarez E. (2013). *Nutrición Mineral de forraje verde hidropónico. Revista Chapingo 19 (02), 5-6.* <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- Arteaga, G. (Septiembre de 2022). *Testsiteforme*. Obtenido de <https://www.testsiteforme.com/que-es-el-analisis-de-varianza-anova/>
- Bedolla, Martha. (2015). *La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional de forraje verde hidropónico de maíz. El Sevier La Revista Argentina de Microbiología 47(3). 8-9.* <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.04.002>
- Carruthers, Steven & Arano, C. UNALM (2003). *Red Hidroponía. Centro de Hidroponía y Nutrición Mineral UNALM.* Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chavarría, A. & Castillo, S. S. (2018). *El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático 2(2), 3-4.*
<https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- De la Peña, J. (2010). *Evaluación de productos químicos para el control de microtoxinas en el sistema productivo de forraje verde hidropónico (Tesis de maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada).* Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/480>
- Delgado, E. (2021). *Implementación de un sistema automatizado para control y supervisión de la producción de forraje verde hidropónico en la ciudad de Cusco (Tesis de titulación, Universidad Tecnológica del Perú).* Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/5175>

- FAO. (2001). (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). *Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 70 p.
- Fuentes, F. (2011). *Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto*. *Idesia* 29(3), 1-2.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000300011>
- Garduño, F. (2011). *Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía (Tesis de titulación, Instituto Politécnico Nacional)*. Obtenido de [https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8314/1/Tesis %20MODELO %20DE %20PRODUCCION %20DE %20FV.pdf](https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8314/1/Tesis%20MODELO%20DE%20PRODUCCION%20DE%20FV.pdf)
- García, A. (2005). *Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento y la calidad del forraje verde hidropónico (Tesis de titulación, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro)*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1345>
- Garófalo, J. (2011). *Guía de cultivo del trigo Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 411*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/381>
- Gómez, M.I. (2007). *Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes (Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf>
- Gonzales, J.E. (2015). *Evaluación de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (sorghum bicolor L.) en invernadero no convencional (Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria)*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3166/>
- Gutiérrez, P. H., & De la Vara, S. R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos (Vol. segunda edición)*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Juarez, P. & Morales H. J. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico*. *Revista Fue Nueva* 4(2), 8-10. Obtenido de <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789>

- Mejía, H.J. & Orellana, F.S. (2019). *Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático 1(1)*. 5-6. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>
- Olmos, F. & Pérez, H.A. (2019). *Sistema embebido para el control de riego en la producción de forraje verde hidropónico (Tesis de titulación, Instituto Politécnico Nacional)*. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/30516>
- Oropeza, H. G. (2018). *GESTIOPOLIS*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/aplicaciones-de-la-estadistica-en-la-ingenieria/>
- Pacco, J.C. (2018). *Producción de forraje verde hidropónico de cebada y avena con adición de fitohormonas en Cabana – Puno (Tesis de titulación, Universidad Nacional del Altiplano)*. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3224190>
- Ramírez, C. & Soto F. (2017). *Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. Agron. Costarricense 41(2)*, 5-6. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Resh, H. (2012). *Cultivos hidropónicos (primera ed.)*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa
- Rodríguez, C.F. (2018). *Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana 19(02)*, 1-2. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711425008.pdf>
- Romero, M.E. & Córdova, G. (2009). *Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. Multidisciplinary Scientific Journal 19 (02)*, 1-2. <https://doi.org/10.15174/au.2009.93>
- Salazar, A. (2018). *Evaluación de un sistema de producción de forraje verde hidropónico en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica)*. Obtenido de <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UCR.000598609>
- Silva, L.O. (2013). *Tratamiento pre germinativo de las semillas de trigo (triticum sativum), avena (avena sativa) y cebada (hordeum vulgare) en cultivos hidropónicos (Tesis de*

- titulación, Universidad Técnica de Ambato*). Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10545>
- Sotelo, J.M. (2020). *Rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare L.) cultivar variedad centenario, aplicando tres volúmenes de riego por microaspersión, bajo condiciones de invernadero (Tesis de titulación, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo)*. Obtenido de <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4076>
- Taboada, V.H. (2022). *Evaluación del forraje hidropónico de cebada (hordeum vulgare) en sistemas de alimentación durante el crecimiento del cuy (cavia porcellus) (Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina)*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5280>
- Torres, H. (2010). *Efecto de tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico. Interciencia 35(4).3-4.* <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913156008.pdf>
- Trevizan, J.F. & Challapa G.A. (2020). *Comparación del rendimiento de forraje verde hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua. Arica, Chile. Idesia 38(3) 1-2.* <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300113>
- UNALM, (2000), *Boletín Informativo N° 08, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral Departamento de Biología.*
- Zagal, M. & Martínez S. (2016). *Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. Abanico 6(1), 3-4.* https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-61322016000100029&script=sci_arttext

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

PESO DE LAS BANDEJAS PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN AL FINALIZAR EL PROYECTO

MUESTRAS DE LAS UE								
UE	MUESTRA	1	2	3	4	5	SUMA	PROMEDIO
UE1	M1	1421.00	914.00	1341.00	1421.00	1321.00	6418.00	1283.60
	M2	1491.00	1561.00	1821.00	1531.00	1513.00	7917.00	1583.40
SUMA		2912.00	2475.00	3162.00	2952.00	2834.00		
PROMEDIO		1456.00	1237.50	1581.00	1476.00	1417.00		
							SUMA	PROMEDIO
UE2	M1	1481.00	1541.00	1312.00	1244.00	1541.00	7119.00	1423.80
	M2	1562.00	1531.00	1521.00	1612.00	1491.00	7717.00	1543.40
SUMA		3043.00	3072.00	2833.00	2856.00	3032.00		
PROMEDIO		1521.50	1536.00	1416.50	1428.00	1516.00		
							SUMA	PROMEDIO
UE3	M1	1341.00	1431.00	1542.00	1321.00	1431.00	7066.00	1413.20
	M2	1421.00	1489.00	1563.00	1390.00	1562.00	7425.00	1485.00
SUMA		2762.00	2920.00	3105.00	2711.00	2993.00		
PROMEDIO		1381.00	1460.00	1552.50	1355.50	1496.50		
							SUMA	PROMEDIO
UE4	M1	1413.00	1341.00	1532.00	1341.00	1451.00	7078.00	1415.60
	M2	1513.00	1421.00	1542.00	1342.00	1431.00	7249.00	1449.80
SUMA		2926.00	2762.00	3074.00	2683.00	2882.00		
PROMEDIO		1463.00	1381.00	1537.00	1341.50	1441.00		

ANEXO 2:
ALTURA DEL FORRAJE

ANEXO 02.01. Dato de la altura del forraje al 25 % de su desarrollo

MUESTRAS DE LAS UE																		
UE	MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUMA	PROMEDIO
UE1	M1	2.40	2.30	2.10	1.70	1.40	2.40	2.40	2.40	2.60	2.80	2.80	2.10	2.10	2.30	1.90	33.70	2.25
	M2	2.30	2.20	2.10	2.40	2.10	2.10	2.40	2.10	2.90	1.90	1.80	2.20	2.10	2.40	2.10	33.10	2.21
SUMA		4.70	4.50	4.20	4.10	3.50	4.50	4.80	4.50	5.50	4.70	4.60	4.30	4.20	4.70	4.00		
PROMEDIO		2.35	2.25	2.10	2.05	1.75	2.25	2.40	2.25	2.75	2.35	2.30	2.15	2.10	2.35	2.00		
SUMA PROMEDIO																		
UE2	M1	2.30	2.20	2.00	1.60	1.30	2.30	2.30	2.30	2.50	2.70	2.70	2.00	2.00	2.20	1.80	32.20	2.15
	M2	2.20	2.10	2.00	2.30	2.00	2.00	2.30	2.00	2.80	1.80	1.70	2.10	2.00	2.30	2.00	31.60	2.11
SUMA		4.50	4.30	4.00	3.90	3.30	4.30	4.60	4.30	5.30	4.50	4.40	4.10	4.00	4.50	3.80		
PROMEDIO		2.25	2.15	2.00	1.95	1.65	2.15	2.30	2.15	2.65	2.25	2.20	2.05	2.00	2.25	1.90		
SUMA PROMEDIO																		
UE3	M1	2.30	2.10	2.00	2.30	2.00	2.00	2.10	2.40	2.10	2.10	2.40	2.10	2.90	1.90	2.10	32.80	2.19
	M2	2.00	1.60	1.30	2.30	2.30	2.30	2.00	2.30	2.00	2.00	2.30	1.80	2.20	2.10	2.40	30.90	2.06
SUMA		4.30	3.70	3.30	4.60	4.30	4.30	4.10	4.70	4.10	4.10	4.70	3.90	5.10	4.00	4.50		
PROMEDIO		2.15	1.85	1.65	2.30	2.15	2.15	2.05	2.35	2.05	2.05	2.35	1.95	2.55	2.00	2.25		
SUMA PROMEDIO																		
UE4	M1	2.40	2.40	2.30	2.00	2.00	2.10	2.10	2.80	2.00	2.30	2.00	2.00	2.30	2.00	2.30	33.00	2.20
	M2	1.80	1.70	2.10	1.60	1.30	2.30	2.30	2.30	2.00	2.00	2.40	2.10	2.10	2.30	1.80	30.10	2.01
SUMA		4.20	4.10	4.40	3.60	3.30	4.40	4.40	5.10	4.00	4.30	4.40	4.10	4.40	4.30	4.10		
PROMEDIO		2.10	2.05	2.20	1.80	1.65	2.20	2.20	2.55	2.00	2.15	2.20	2.05	2.20	2.15	2.05		

ANEXO 02.02. Dato de la altura del forraje al 50 % de su desarrollo

MUESTRAS DE LAS UE																		
UE	MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUMA	PROMEDIO
UE1	M1	6.50	6.40	6.20	5.80	5.50	6.50	6.50	6.50	6.70	6.90	6.90	6.20	6.20	6.40	6.00	95.20	6.35
	M2	6.40	6.30	6.20	6.50	6.20	6.20	6.50	6.20	7.00	6.00	5.90	6.30	6.20	6.50	6.20	94.60	6.31
SUMA		12.90	12.70	12.40	12.30	11.70	12.70	13.00	12.70	13.70	12.90	12.80	12.50	12.40	12.90	12.20		
PROMEDIO		6.45	6.35	6.20	6.15	5.85	6.35	6.50	6.35	6.85	6.45	6.40	6.25	6.20	6.45	6.10		
SUMA PROMEDIO																		
UE2	M1	6.20	6.30	6.20	6.10	6.20	6.00	6.20	6.40	6.20	6.20	6.40	6.10	5.80	6.00	6.40	92.70	6.18
	M2	6.60	6.20	6.30	6.40	6.20	6.50	6.40	6.20	6.20	6.50	6.20	6.40	6.50	6.20	6.40	95.20	6.35
SUMA		12.80	12.50	12.50	12.50	12.40	12.50	12.60	12.60	12.40	12.70	12.60	12.50	12.30	12.20	12.80		
PROMEDIO		6.40	6.25	6.25	6.25	6.20	6.25	6.30	6.30	6.20	6.35	6.30	6.25	6.15	6.10	6.40		
SUMA PROMEDIO																		
UE3	M1	6.80	6.70	6.10	6.30	6.70	6.40	6.10	6.20	6.40	6.30	6.80	5.60	4.00	6.10	5.90	92.40	6.16
	M2	5.90	6.10	6.20	6.40	2.30	6.20	6.70	6.20	6.10	6.50	6.30	6.10	6.70	6.10	6.10	89.90	5.99
SUMA		12.70	12.80	12.30	12.70	9.00	12.60	12.80	12.40	12.50	12.80	13.10	11.70	10.70	12.20	12.00		
PROMEDIO		6.35	6.40	6.15	6.35	4.50	6.30	6.40	6.20	6.25	6.40	6.55	5.85	5.35	6.10	6.00		
SUMA PROMEDIO																		
UE4	M1	6.40	6.70	6.40	6.00	6.20	6.20	6.80	6.40	6.00	6.80	4.50	4.30	4.30	6.80	6.70	90.50	6.03
	M2	6.10	5.90	5.80	6.70	6.10	6.30	6.10	6.20	6.20	6.70	6.90	4.60	5.60	6.50	6.20	91.90	6.13
SUMA		12.50	12.60	12.20	12.70	12.30	12.50	12.90	12.60	12.20	13.50	11.40	8.90	9.90	13.30	12.90		
PROMEDIO		6.25	6.30	6.10	6.35	6.15	6.25	6.45	6.30	6.10	6.75	5.70	4.45	4.95	6.65	6.45		

ANEXO 02.03. Dato de la altura del forraje al 75 % de su desarrollo

MUESTRAS DE LAS UE																		
UE	MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUMA	PROMEDIO
UE1	M1	12.60	12.50	12.30	11.90	11.60	12.60	12.60	12.60	12.80	13.00	13.00	12.30	12.30	12.50	12.10	186.70	12.45
	M2	12.50	12.40	12.30	12.60	12.30	12.30	12.60	12.30	13.10	12.10	12.00	12.40	12.30	12.60	12.30	186.10	12.41
SUMA		25.10	24.90	24.60	24.50	23.90	24.90	25.20	24.90	25.90	25.10	25.00	24.70	24.60	25.10	24.40		
PROMEDIO		12.55	12.45	12.30	12.25	11.95	12.45	12.60	12.45	12.95	12.55	12.50	12.35	12.30	12.55	12.20		
																	SUMA	PROMEDIO
UE2	M1	12.30	12.40	12.30	11.10	12.30	12.10	12.30	12.80	12.30	11.50	12.50	12.60	11.90	11.10	12.50	182.00	12.13
	M2	12.70	12.30	12.40	12.50	12.30	12.60	12.50	12.30	12.30	12.60	12.30	12.50	12.60	12.30	12.50	186.70	12.45
SUMA		25.00	24.70	24.70	23.60	24.60	24.70	24.80	25.10	24.60	24.10	24.80	25.10	24.50	23.40	25.00		
PROMEDIO		12.50	12.35	12.35	11.80	12.30	12.35	12.40	12.55	12.30	12.05	12.40	12.55	12.25	11.70	12.50		
																	SUMA	PROMEDIO
UE3	M1	12.50	12.60	12.30	12.40	12.60	12.90	12.10	12.10	12.20	12.10	12.60	12.60	12.10	12.40	12.30	185.80	12.39
	M2	11.10	11.50	12.40	12.60	12.80	11.70	14.20	12.10	11.50	11.60	12.60	12.80	12.60	12.40	12.30	184.20	12.28
SUMA		23.60	24.10	24.70	25.00	25.40	24.60	26.30	24.20	23.70	23.70	25.20	25.40	24.70	24.80	24.60		
PROMEDIO		11.80	12.05	12.35	12.50	12.70	12.30	13.15	12.10	11.85	11.85	12.60	12.70	12.35	12.40	12.30		
																	SUMA	PROMEDIO
UE4	M1	11.40	11.30	12.50	12.10	11.90	12.50	12.60	12.70	12.90	11.10	11.60	12.10	12.50	12.40	12.10	181.70	12.11
	M2	11.90	11.40	11.60	12.50	12.50	12.30	12.10	12.60	12.30	12.10	11.60	11.50	12.50	12.10	12.10	181.10	12.07
SUMA		23.30	22.70	24.10	24.60	24.40	24.80	24.70	25.30	25.20	23.20	23.20	23.60	25.00	24.50	24.20		
PROMEDIO		11.65	11.35	12.05	12.30	12.20	12.40	12.35	12.65	12.60	11.60	11.60	11.80	12.50	12.25	12.10		

ANEXO 02.04. Dato de la altura del forraje al 100 % de su desarrollo

MUESTRAS DE LAS UE																		
UE	MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUMA	PROMEDIO
UE1	M1	19.50	19.40	19.20	18.80	18.50	19.50	19.50	19.50	19.70	19.90	19.90	19.20	19.20	19.40	19.00	290.20	19.35
	M2	20.40	20.30	20.20	20.50	20.20	20.20	20.50	20.20	21.00	20.00	19.90	20.30	20.20	20.50	20.20	304.60	20.31
SUMA		39.90	39.70	39.40	39.30	38.70	39.70	40.00	39.70	40.70	39.90	39.80	39.50	39.40	39.90	39.20		
PROMEDIO		19.95	19.85	19.70	19.65	19.35	19.85	20.00	19.85	20.35	19.95	19.90	19.75	19.70	19.95	19.60		
																	SUMA	PROMEDIO
UE2	M1	19.20	19.30	18.10	19.60	18.10	19.00	19.20	19.70	19.20	19.20	19.40	19.50	18.80	19.00	19.40	286.70	19.11
	M2	20.60	20.20	20.30	20.40	20.20	20.50	20.40	20.20	20.20	20.50	20.20	20.40	20.50	20.20	20.40	305.20	20.35
SUMA		39.80	39.50	38.40	40.00	38.30	39.50	39.60	39.90	39.40	39.70	39.60	39.90	39.30	39.20	39.80		
PROMEDIO		19.90	19.75	19.20	20.00	19.15	19.75	19.80	19.95	19.70	19.85	19.80	19.95	19.65	19.60	19.90		
																	SUMA	PROMEDIO
UE3	M1	19.10	19.40	19.40	18.10	18.30	18.10	19.30	19.20	18.50	18.20	19.30	19.40	18.40	19.10	18.40	282.20	18.81
	M2	20.40	20.10	19.30	19.30	19.30	20.30	20.10	19.20	19.10	20.40	19.40	19.30	19.40	20.20	19.20	295.00	19.67
SUMA		39.50	39.50	38.70	37.40	37.60	38.40	39.40	38.40	37.60	38.60	38.70	38.70	37.80	39.30	37.60		
PROMEDIO		19.75	19.75	19.35	18.70	18.80	19.20	19.70	19.20	18.80	19.30	19.35	19.35	18.90	19.65	18.80		
																	SUMA	PROMEDIO
UE4	M1	18.30	18.50	18.70	18.90	18.60	19.10	18.10	19.30	19.50	19.40	18.40	18.50	18.40	19.40	18.10	281.20	18.75
	M2	19.10	19.30	19.50	19.50	19.20	20.30	19.50	20.50	20.60	20.50	20.60	19.50	20.50	19.20	20.30	298.10	19.87
SUMA		37.40	37.80	38.20	38.40	37.80	39.40	37.60	39.80	40.10	39.90	39.00	38.00	38.90	38.60	38.40		
PROMEDIO		18.70	18.90	19.10	19.20	18.90	19.70	18.80	19.90	20.05	19.95	19.50	19.00	19.45	19.30	19.20		

ANEXO 3
PARÁMETROS PARA INTERPRETAR EL 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	C.E. 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)
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 participan 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 4
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO



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



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUAS

SOLICITANTE : Bach. Meza Valenzuela André Victor
PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO (*Triticum spp*) POR DOS MÉTODOS USANDO RIEGO POR MICRO ASPERSIÓN EN HUARI – ANCASH, 2023
MUESTRA : TANQUE
UBICACIÓN : Huari – Áncash

N° MUESTRA	281-a
TIPO	Riego
pH	6.98
CE dS/m	0.11
CALCIO me/l	1.64
MAGNESIO me/l	0.71
POTASIO me/l	0.08
SODIO me/l	0.01
SUMA DE CATIONES	2.44
NITRATOS me/l	N.D.
CARBONATOS me/l	0.00
BICARBONATOS me/l	0.00
SULFATOS me/l	0.09
CLORUROS me/l	1.13
SUMA DE ANIONES	1.22
SODIO %	0.41
RAS	0.01
BORO ppm	ND
Clasificación	C1S1

- ND: NO DETERMINADO

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

Huaraz, 13 de diciembre del 2023.

ANEXO 5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA



Catálogo Bombas periféricas



**Electrobomba Periférica Werken 0.5 HP
32L/min Aluminio**
Werken 115032



FICHA TÉCNICA

Características Protector térmico que se activa a los 60° de temperatura. Electrobomba volumétrica capaz de desarrollar una gran altura de elevación con potencias relativamente reducidas. Particularmente adecuada para aumentar la altura de elevación en las instalaciones domésticas.	Garantía 3 Años
Observaciones Instalar en lugares protegidos del clima.	Profundidad Del Producto 26 cm
Recomendaciones De Uso Verifique la coincidencia del voltaje de alimentación con el de la máquina. Leer las instrucciones de uso para una correcta instalación.	Altura Del Producto 15.7 cm
Modelo Periférica	Tipo de Producto Electrobomba
Ancho Del Producto 12 cm	Sub Tipo de Producto Periférica
Material Aluminio	Color Plata
Máximo poder de descarga 90 l/min	Marca Werken
Presión máxima de trabajo 28 PSI	Peso Del Producto 5.5 kg
Diámetro de distribución 1 "	Altura recomendable de distribución 32 m
Advertencia de uso Mantener alejado de los niños, utilizar herramientas y equipo de protección personal adecuado al momento de instalar el producto. Usar los accesorios adecuados para el producto.	Caudal máximo 32 l/min

Electrobomba Periférica Werken 0.5 HP 32L/min Aluminio



ANEXO 6

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BANDEJA DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO



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.

Descripción

Modelos	Medida (cm)Bandeja	Altura (cm)Bandeja	Color	Peso x Bandeja
F055303	55 x 30	3.0	Negro	420 gr
F055286	55 X 28	6.0	Negro	180 gr
F055286P	55 X 28	6.0	Negro	250 gr
F055283P	55 X 28	3.0	Negro	160 gr

La bandeja usada en el proyecto fue del tipo F055286.



Microaspersores Sprays Micro-Quick™

El sistema Micro-Quick™ de Rain Bird® ayuda a proporcionar un uso más eficiente del agua, de los productos químicos y la energía. El mecanismo único de colocación de presión tipo "Bayoneta" en las boquillas y deflectores reduce el tiempo y los gastos necesarios para el mantenimiento regular y al hacer modificaciones para una variedad de condiciones de crecimiento. Los Microaspersores Sprays Micro-Quick son el único sistema de micro disponible con un diseño con deflector reversible de dos patrones para dar más opciones para el riego eficiente.

Características

- No se requieren herramientas para el montaje, desmontaje, mantenimiento o limpieza en las boquillas y deflectores con el mecanismo tipo "bayoneta" a presión.
- Boquillas y deflectores intercambiables para cambiar el caudal o los patrones de distribución según sea necesario
- Boquillas codificadas por color para una fácil identificación
- Menos mantenimiento requerido, sin partes móviles
- Puede ser instalado en posición vertical para la distribución hacia arriba o invertido con posición hacia abajo para una diferente distribución
- Construido con resina estabilizada para proteger contra el daño de la luz ultravioleta (UV) y los productos químicos
- Orden preensamblado de fábrica o como componentes individuales para personalizar en el campo

Aplicaciones

- Para uso en fruticultura, agricultura, invernaderos y viveros
- Funciona tanto en una instalación en posición vertical o invertida, por lo que es ideal para viveros, huertos, viñedos, hortalizas, y los cultivos de nueces y cítricos

Especificaciones

- Presión de operación:**
 - 0.69 a 2.07 bar (10 a 30 psi)
- Rango de caudal:**
 - 6.00 a 115.7 l/h
- Rango del diámetro de mojado :**
 - 0.91 a 8.5m (3 a 28 feet)
- Filtración:**
 - Recomendación cambia según la selección de la boquilla
 - Varía de 74 a 180 micrones (80 a 200 mesh)
- Tubo de Transferencia / Distribución:**
 - La longitud estándar de montaje: 0.91m (36"), llame para opciones de longitud personalizadas
 - Tamaño del tubo de transferencia DE: 6.4 mm (0.25"), DI: 4.3 mm (0.17"); espesor de pared: 1 mm (0.04")

Información sobre el embalaje

- Microaspersores ensamblados se pueden pedir en incrementos de 1; Cantidad caja de 400
- Las boquillas y los deflectores se pueden pedir en incrementos de 200 piezas; Caja con boquillas de 3,000 y la caja con deflectores es 5,000
- Estacas se pueden pedir en incrementos de 1; Caja con 130
- Ensamble con tubo de transferencia puede ser ordenados en incrementos de 100; Caja con 700



Cómo Especificar

MQ 36 BS AA 05

Boquilla

- 05 - 5 gph (18.9 l/h) Negro
- 08 - 8 gph (30.3 l/h) Naranja
- 12 - 12 gph (45.4 l/h) Azul
- 14 - 14 gph (53 l/h) Violeta
- 17 - 17 gph (64.4 l/h) Verde
- 24 - 24 gph (90.8 l/h) Rojo
- 33 - 33 gph (124.9 l/h) Blanco

Deflector

(Abajo x Arriba)

- AA - A x A Patrón
- AC - A x C Patrón
- AE - A x E Patrón
- BC - B x C Patrón
- BE - B x E Patrón
- DC - D x C Patrón
- DE - D x E Patrón
- EA - E x A Patrón
- ED - E x D Patrón
- EF - E x F Patrón
- EG - E x G Patrón
- FE - F x E Patrón
- GE - G x E Patrón

Estaca

BS - Estaca Negro

Longitud del tubo

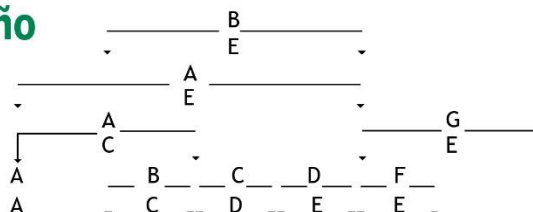
36 - 36" (91.4 cm)

Modelo

MQ - Microaspersores Micro-Quick™

Datos de Desempeño

Unidades metricas



Boquilla	Presión Caudal (bar) (l/h)		A 360° Star Bird™ Diámetro (m)		B Mariposa Longitud Anchura (m)		C 120° Aspersión Abanico (m)	D 360° 24 Chorros Diámetro (m)	E Aspersión Descendente Diámetro (m)	F Protector de Tronco Diámetro (m)		G Rectangular Longitud Anchura (m)		Filtración Recomendada (mesh/micron)
	0.75	6.0	2.6	2.4	2.3	1.2	2.4	0.9	3.0	2.7	1.8			
QN-05 0.026"(0.66mm) Negro Q1080005	1.00	12.0	2.9	3.0	2.6	1.4	2.9	0.9	3.3	3.0	2.0	200/74		
	1.50	19.8	3.3	3.3	2.7	1.6	3.2	0.9	3.6	3.3	2.1			
	1.75	22.3	3.4	3.5	2.9	1.6	3.4	0.9	3.8	3.6	2.3			
	2.00	24.5	3.5	3.7	3.0	1.7	3.4	0.9	4.0	4.0	2.4			
	0.75	21.0	3.7	3.0	2.3	1.4	2.9	0.9	3.8	3.6	2.1		170/93	
1.00	26.3	3.8	3.5	2.6	1.5	3.3	0.9	4.1	4.1	2.4				
1.50	30.1	4.3	3.8	2.9	1.7	3.8	0.9	4.2	4.6	2.7				
1.75	34.6	4.4	3.8	2.9	1.8	4.0	0.9	4.2	5.0	3.0				
2.00	37.8	4.5	4.0	3.0	2.0	4.2	0.9	4.4	5.4	3.2				
QN-12 0.033"(0.84mm) Negro Q1080008	0.75	27.6	5.1	3.4	2.9	1.4	3.3	0.9	4.4	4.6	2.4	150/105		
	1.00	34.5	5.3	4.0	3.0	1.6	3.7	0.9	4.7	5.0	2.7			
	1.50	40.0	5.4	4.4	3.2	1.9	4.0	0.9	4.9	5.4	2.9			
	1.75	44.7	5.5	4.6	3.5	2.0	4.8	0.9	5.1	6.2	3.2			
	2.00	49.9	5.5	4.7	3.7	2.1	5.3	0.9	5.3	7.0	3.3			
QN-14 0.044"(1.12mm) Negro Q1080014	0.75	36.5	5.8	4.0	3.0	1.5	3.6	0.9	5.0	4.7	2.6	130/118		
	1.00	44.6	6.1	4.9	3.5	1.7	4.2	0.9	5.3	5.3	2.9			
	1.50	52.0	6.3	5.2	3.7	1.8	5.0	0.9	5.6	5.9	3.0			
	1.75	58.7	6.3	5.5	3.8	1.9	5.5	0.9	5.9	6.7	3.3			
	2.00	65.0	6.4	5.8	4.0	2.1	6.1	0.9	6.2	7.3	3.5			
QN-17 0.048"(1.22mm) Negro Q1080017	0.75	40.5	6.4	4.6	3.2	1.8	4.0	0.9	5.1	4.9	2.7	120/125		
	1.00	50.5	6.7	5.2	3.7	1.8	4.5	0.9	5.6	5.6	3.0			
	1.50	58.5	6.9	5.8	3.8	1.9	5.5	0.9	6.1	6.2	3.2			
	1.75	65.9	7.0	6.1	4.0	2.0	6.0	0.9	6.5	7.0	3.3			
	2.00	72.3	7.1	6.4	4.1	2.1	6.8	0.9	7.0	7.6	3.7			
QN-24 0.057"(1.45mm) Negro Q1080024	0.75	53.9	7.1	4.9	3.5	2.0	4.6	0.9	5.4	5.6	3.3	100/150		
	1.00	65.6	7.8	5.5	3.8	2.2	5.1	0.9	6.1	6.2	3.7			
	1.50	76.0	8.2	5.9	4.0	2.2	6.3	0.9	6.5	6.7	3.9			
	1.75	84.9	8.5	6.4	4.1	2.3	7.0	0.9	7.1	7.3	4.1			
	2.00	98.4	8.5	6.7	4.3	2.3	7.3	0.9	7.6	7.7	4.2			
QN-33 0.068"(1.73mm) Negro Q1080033	0.75	65.1	7.6	5.5	3.4	2.3	5.4	0.9	5.8	6.4	3.9	80/180		
	1.00	79.5	7.9	6.4	4.0	2.5	5.8	0.9	6.4	6.9	4.2			
	1.50	95.3	8.3	7.0	4.4	2.8	6.6	0.9	7.0	7.1	4.4			
	1.75	105.7	8.4	7.3	4.6	2.9	7.1	0.9	7.6	7.6	4.7			
	2.00	115.7	8.5	7.6	4.7	2.9	7.5	0.9	8.2	7.9	4.9			

Rain Bird Corporation
970 West Sierra Madre Avenue
Azusa, CA 91702
Phone: (800) HELLO-AG (800-435-5624)
Fax: (626) 812-3411

Rain Bird Corporation
6991 E. Southpoint Road
Tucson, AZ 85756
Phone: (520) 741-6100
Fax: (520) 741-6522

Rain Bird International, Inc.
1000 West Sierra Madre Ave.
Azusa, CA 91702
Phone: (626) 963-9311
Fax: (626) 852-7343

© Registered Trademark of Rain Bird Corporation
© 2016 Rain Bird Corporation 05/16

The Intelligent Use of Water™
www.rainbird.com

L4175PA

El modelo usado en el proyecto fue QN-05 Negro Q1080005 Caudal 6.00 l/hora.

ANEXO 8
DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

Anexo 8.1. Datos generales

Data											
Date	Longitude	Latitude	Elevation	T. máx	T. media	T. mín	Precipitation	Wind	Relative Humidity	Solar	
01/01/2010	77.18	9.61	3140	18.65	13.10	7.55	12.71	1.71	0.82	13.91	
01/02/2010	77.18	9.61	3140	17.41	12.59	7.78	16.31	2.23	0.83	10.87	
01/03/2010	77.18	9.61	3140	20.05	13.31	6.57	7.09	2.53	0.80	17.07	
01/04/2010	77.18	9.61	3140	18.82	12.54	6.26	7.81	2.59	0.80	15.54	
01/05/2010	77.18	9.61	3140	19.23	11.66	4.09	0.30	2.29	0.67	24.20	
01/06/2010	77.18	9.61	3140	16.80	7.43	-1.94	4.28	1.77	0.91	18.43	
01/07/2010	77.18	9.61	3140	17.10	7.95	-1.20	21.08	1.41	0.95	16.84	
01/08/2010	77.18	9.61	3140	17.30	10.68	4.06	7.25	1.63	0.97	17.88	
01/09/2010	77.18	9.61	3140	18.20	9.71	1.22	19.61	1.53	0.93	19.88	
01/10/2010	77.18	9.61	3140	14.44	9.41	4.37	34.08	1.69	1.00	8.48	
01/11/2010	77.18	9.61	3140	14.28	8.87	3.46	9.70	1.78	0.97	14.21	
01/12/2010	77.18	9.61	3140	17.31	12.24	7.18	20.61	1.89	0.82	9.75	
1/13/2010	77.18	9.61	3140	16.16	11.88	7.60	22.25	1.96	0.87	6.79	
1/14/2010	77.18	9.61	3140	16.13	11.65	7.17	8.91	2.25	0.91	6.46	
1/15/2010	77.18	9.61	3140	21.08	10.40	-0.27	0.01	2.68	0.67	31.77	
1/16/2010	77.18	9.61	3140	18.96	8.57	-1.82	0.82	2.11	0.82	23.83	
1/17/2010	77.18	9.61	3140	14.40	9.29	4.18	3.25	1.87	0.99	12.04	
1/18/2010	77.18	9.61	3140	16.75	9.57	2.40	3.95	1.98	0.95	17.69	
1/19/2010	77.18	9.61	3140	16.74	10.48	4.21	2.97	3.16	0.96	18.65	
1/20/2010	77.18	9.61	3140	17.95	10.85	3.74	7.76	3.03	0.92	18.14	
1/21/2010	77.18	9.61	3140	20.07	13.08	6.10	10.69	2.07	0.76	21.41	
1/22/2010	77.18	9.61	3140	20.47	13.07	5.67	10.39	1.42	0.86	23.08	
1/23/2010	77.18	9.61	3140	18.93	11.96	4.98	18.20	1.60	0.93	19.27	
1/24/2010	77.18	9.61	3140	17.55	11.17	4.80	19.53	1.57	0.98	14.82	
1/25/2010	77.18	9.61	3140	11.82	8.07	4.32	33.00	1.09	1.00	4.55	
1/26/2010	77.18	9.61	3140	15.05	9.55	4.06	14.80	1.19	0.99	12.45	
1/27/2010	77.18	9.61	3140	14.32	9.40	4.47	26.57	1.14	1.00	7.97	
1/28/2010	77.18	9.61	3140	11.22	7.73	4.23	15.52	1.44	1.00	4.28	
1/29/2010	77.18	9.61	3140	13.29	8.69	4.08	15.86	1.45	1.00	7.16	
1/30/2010	77.18	9.61	3140	11.42	7.57	3.72	15.80	1.80	1.00	11.48	

Anexo 8.2. Precipitación

PRECIPITACION (mm/mes)													
PP ANUAL	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
63.97	2010	63.13	70.52	70.90	71.32	60.82	71.45	71.32	50.32	64.32	55.32	53.12	65.12
64.80	2011	61.66	71.51	72.49	75.21	67.31	73.92	63.44	52.21	67.21	58.21	52.21	62.21
65.35	2012	71.34	72.53	74.21	73.85	62.45	80.21	70.21	45.78	62.78	53.78	54.02	63.06
67.84	2013	64.06	73.51	75.78	82.44	74.91	72.89	72.89	54.23	68.23	59.23	55.43	60.43
65.21	2014	65.26	74.51	76.38	74.77	65.76	64.32	74.55	46.89	65.89	57.25	53.98	62.98
65.37	2015	69.34	65.53	70.91	76.55	68.32	71.79	71.67	42.67	69.67	61.67	51.67	64.67
63.32	2016	67.66	66.53	71.29	60.93	71.49	67.44	67.89	49.32	63.32	56.32	56.32	61.32
66.14	2017	83.84	67.54	83.04	81.26	95.33	69.98	62.97	31.03	51.06	48.20	54.97	64.48
66.02	2018	73.19	73.03	75.40	67.39	70.07	65.78	75.78	47.55	66.55	59.55	52.45	65.45
66.72	2019	74.39	74.03	76.82	76.42	76.23	72.45	72.45	43.78	63.78	53.78	55.76	60.76
66.48	2020	75.59	75.01	77.58	62.19	72.63	68.92	68.92	51.67	67.67	60.67	53.43	63.43
69.32	2021	76.79	76.03	78.41	78.11	77.99	66.55	76.55	55.89	68.89	58.89	54.89	62.89
66.73	2022	77.99	77.02	61.09	70.83	73.82	73.67	73.78	53.44	66.44	56.44	57.12	59.12
69.55	2023	79.19	78.03	63.21	73.24	78.33	78.01	78.01	56.21	70.21	62.21	50.95	66.95
66.20	PROMEDIO	71.67	72.52	68.20	73.18	72.53	71.24	71.46	48.64	65.43	57.25	54.02	63.06

Anexo 8.3. Temperatura media

TEMPERATURA MEDIA												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	10.36	11.85	12.07	9.85	10.22	12.25	11.14	11.81	13.37	13.03	11.15	12.91
2011	11.16	9.54	11.71	10.34	11.30	11.49	13.12	12.93	14.74	14.79	11.95	11.32
2012	10.89	10.61	10.59	11.32	12.03	12.96	12.62	13.16	14.53	14.57	14.40	14.25
2013	14.42	13.10	11.65	12.03	12.65	13.56	12.88	14.10	14.00	15.10	14.62	13.37
2014	11.91	10.27	10.90	11.57	13.02	12.92	13.34	13.31	14.38	14.35	11.53	10.97
2015	10.57	10.32	10.18	7.85	11.09	12.48	12.14	13.73	13.98	14.36	12.86	8.64
2016	7.98	11.61	13.56	13.82	13.58	13.14	12.96	14.32	14.60	14.50	13.64	12.99
2017	14.38	13.82	13.53	14.27	14.58	13.87	13.68	14.25	14.78	14.27	14.19	13.43
2018	12.66	12.39	12.35	13.20	13.64	13.46	13.25	14.61	14.13	14.28	14.18	13.64
2019	12.70	12.76	12.77	14.08	14.06	14.22	14.06	14.56	15.43	14.68	14.63	13.26
2020	13.76	14.87	14.44	15.24	15.32	14.49	14.52	14.87	15.43	14.25	13.78	12.91
2021	26.46	27.73	27.29	26.95	26.39	25.49	24.64	24.55	24.67	24.04	25.30	26.03
2022	26.67	27.54	28.16	27.60	26.88	26.07	25.38	24.57	25.08	25.56	26.15	26.15
2023	27.68	27.55	27.94	27.00	25.86	24.91	24.28	24.25	24.84	25.19	25.16	26.10
PROMEDIO	15.11	15.28	15.51	15.37	15.76	15.81	15.57	16.07	16.71	16.64	15.97	15.43

Anexo 8.4. Humedad Relativa

HUMEDAD RELATIVA (%)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	90.50	86.56	87.99	94.15	90.76	69.80	69.83	55.56	60.30	68.26	64.74	72.74
2011	88.69	93.07	91.23	90.62	93.50	65.74	56.59	46.92	59.56	64.90	86.64	89.53
2012	90.60	96.88	97.08	90.36	80.67	55.19	57.49	51.87	58.34	68.16	70.60	79.77
2013	73.20	82.02	90.38	88.27	78.67	61.61	52.75	50.74	64.22	63.48	69.13	79.71
2014	84.67	96.57	93.87	89.53	78.75	56.02	61.35	51.76	61.25	70.83	90.72	0.93
2015	93.97	95.94	98.12	96.34	90.37	65.28	52.35	55.64	67.08	70.76	65.57	96.71
2016	97.47	93.38	85.85	77.20	60.51	61.57	46.94	53.69	60.42	63.88	78.07	88.64
2017	81.63	78.08	82.23	77.18	66.76	49.65	57.52	50.99	54.89	65.95	73.07	75.96
2018	85.85	85.10	81.91	80.27	70.20	57.75	53.03	53.88	63.24	70.52	72.80	73.64
2019	85.03	84.89	85.73	75.99	72.10	55.91	52.91	55.38	54.42	73.26	71.93	84.53
2020	81.38	78.71	80.93	73.83	65.75	55.42	55.01	47.45	57.14	67.05	58.07	73.74
2021	69.88	59.85	62.13	69.60	65.73	68.40	66.45	63.23	63.58	63.78	67.04	70.58
2022	69.08	62.67	69.08	67.93	67.26	69.73	66.96	63.93	67.00	67.78	68.07	66.30
2023	69.99	65.41	67.09	65.89	67.39	64.20	61.79	64.92	64.99	67.86	66.77	71.67
PROMEDIO	83.00	82.79	83.83	81.23	74.89	61.16	57.93	54.71	61.17	67.60	71.66	73.17

Anexo 8.5. Radiación solar

RADIACION SOLAR (MJ/m2)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	14.65	11.45	11.97	17.07	18.98	19.27	21.07	27.36	22.80	23.58	25.90	22.23
2011	14.71	15.35	11.62	20.84	16.28	23.42	20.81	26.54	20.79	18.49	14.05	21.10
2012	20.26	15.15	13.75	16.85	17.85	22.68	21.06	23.41	21.15	16.01	17.43	13.50
2013	15.98	14.33	14.00	14.63	17.92	21.03	23.46	22.40	17.42	19.83	17.61	13.48
2014	18.60	15.68	16.69	15.77	17.55	20.43	16.34	22.58	19.26	15.76	14.22	14.83
2015	17.57	15.78	12.35	16.46	17.74	19.75	23.64	23.28	18.07	15.78	21.89	15.53
2016	17.11	12.00	11.28	14.49	19.56	19.71	23.04	19.88	21.24	18.45	15.77	12.77
2017	13.69	15.29	11.38	14.06	16.68	22.48	18.20	24.28	19.99	17.68	17.01	18.21
2018	10.66	12.29	12.22	12.60	15.37	19.23	21.39	22.39	16.75	14.44	15.79	16.59
2019	10.14	10.82	10.05	14.71	12.76	17.41	19.01	17.82	20.17	13.48	16.71	9.52
2020	11.53	15.09	11.48	15.36	18.07	19.52	19.02	24.10	21.81	15.57	17.91	13.28
2021	20.37	18.65	18.13	19.08	23.36	22.14	22.59	24.80	25.91	25.59	22.60	18.68
2022	22.23	20.13	20.83	19.29	22.35	21.56	22.95	25.43	25.56	23.61	24.03	19.89
2023	27.87	18.81	17.07	22.55	21.03	22.14	22.71	25.05	27.60	23.33	25.00	22.15
PROMEDIO	16.81	15.06	13.77	16.70	18.25	20.77	21.09	23.52	21.32	18.69	18.99	16.56

Anexo 8.6. Viento

VIENTO (m/s)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	1.86	1.97	1.82	2.42	2.76	2.56	2.97	3.59	2.62	2.64	2.55	2.41
2011	1.79	2.20	1.83	3.18	2.35	3.78	3.02	4.12	2.56	2.22	1.90	2.23
2012	2.56	2.22	2.35	2.65	3.28	3.80	3.35	3.70	2.66	2.11	2.31	1.95
2013	2.23	2.23	1.94	2.03	2.82	2.75	3.42	3.00	2.51	2.08	2.03	2.14
2014	2.45	2.29	2.76	2.40	2.26	3.49	2.64	3.76	2.71	2.08	2.03	1.97
2015	2.13	2.46	2.10	3.08	2.90	2.68	3.42	2.80	2.45	1.89	2.33	1.93
2016	2.09	1.84	1.66	1.99	2.25	3.10	3.72	2.98	2.60	2.36	2.13	2.22
2017	1.90	2.52	2.04	1.94	2.23	3.34	2.68	2.92	2.82	2.10	2.22	2.45
2018	1.99	2.18	2.13	1.93	1.87	2.67	2.77	2.52	2.35	1.92	2.04	2.37
2019	2.02	1.96	1.97	2.24	2.04	2.55	2.87	2.66	2.73	2.02	2.35	2.02
2020	1.98	2.25	1.97	2.13	2.36	3.06	2.37	2.85	2.45	2.28	2.62	2.36
2021	1.73	1.56	1.48	1.68	2.07	2.09	2.07	2.16	2.01	1.94	1.78	1.68
2022	1.77	1.66	2.01	1.75	2.06	2.17	2.34	2.36	2.38	1.83	1.77	1.65
2023	2.33	1.69	1.44	1.75	1.86	1.85	2.01	2.02	2.28	1.75	1.94	1.86
PROMEDIO	2.06	2.07	1.96	2.23	2.36	2.85	2.83	2.96	2.51	2.09	2.14	2.09

Anexo 8.7. Tabla de Factor por latitud de Evapotranspiración Potencial de Hargreaves

Tabla de Factor de Evapotranspiración potencial (MEF) de Hargreaves												
Latitud S (°)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	2.788	2.117	2.354	2.197	2.137	1.99	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.05	2.194	2.251	2.372	2.2263	2.301
3	2.352	2.154	2.36	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.29	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.05	1.888	1.993	2.15	2.24	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.02	1.854	1.96	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.205	2.363	2.117	1.98	1.82	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.433	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.081	1.927	1.75	1.858	2.054	2.21	2.433	2.423	2.51
9	2.538	2.251	2.36	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	1.976	2.18	2.47	2.497	2.61
12	2.625	2.292	2.35	2.002	1.799	1.608	1.719	1.95	2.169	2.477	2.52	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.484	2.543	2.675
14	2.68	2.317	2.34	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.49	2.566	2.706
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.7	1.5	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.327	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.5	2.61	2.769
17	2.76	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.54	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.311	1.867	1.598	1.391	1.504	1.78	2.088	2.508	2.651	2.83
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.534	1.354	1.684	1.75	2.072	2.51	2.671	2.859

ANEXO 9
SECCIÓN FOTOGRÁFICA



Fotografía N° 01- 02: Proceso de construcción de invernadero no convencional en Huari – Áncash



Fotografía N° 03-04: Ensamblaje del módulo de forraje verde hidropónico



Fotografía N° 05- 06: Selección de semillas de trigo *triticum spp.*



Fotografía N° 07- 08: Lavado de las semillas de trigo *triticum spp.*



Fotografía N° 09- 10: Desinfección de las semillas de trigo *triticum spp* con hipoclorito de sodio



Fotografía N° 11- 12: Remojo de las semillas para su proceso de pre germinación



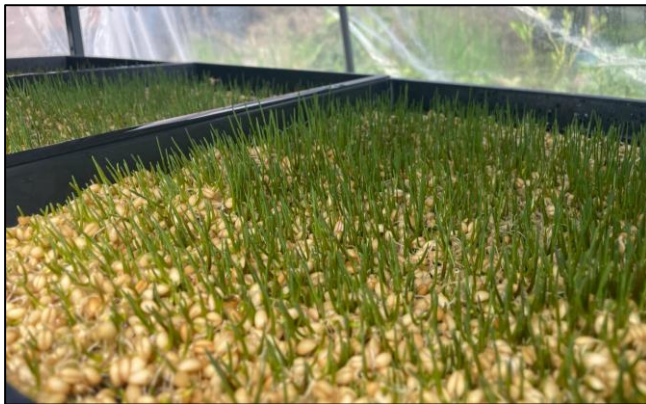
Fotografía N° 13- 14: Lavado y desinfección de las bandejas forrajeras



Fotografía N° 15- 16: Prueba del timer y de los microaspersores



Fotografía N° 17- 18: Pesaje y acomodo de las semillas en las bandejas forrajeras



Fotografía N° 19- 20: Altura de forraje a los 3 primeros días.



Fotografía N° 21- 22: Forraje verde finalizando su proceso



Fotografía N° 23- 24: Pesaje del forraje verde hidropónico