

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“EFECTO DE 3 LAMINAS DE AGUA APLICADO MEDIANTE EL  
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCION DEL  
CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*) EN EL DISTRITO  
DE TINCO – PROVINCIA DE CARHUAZ-2022”**

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

Presentado por:

Bach. GARCIA MENDEZ, LUIS SERGIO

Asesor:

Dr. Ing. MEJÍA ANAYA, TEOFANES

**Huaraz, Perú**

**2023**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSITARIA DE HUANCAYAN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERU



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola **LUIS SERGIO GARCÍA MÉNDEZ**, denominado: "EFECTO DE 3 LAMINAS DE AGUA APLICADO MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*) EN EL DISTRITO DE TINCO – PROVINCIA DE CARHUAZ - 2022", asesorado por el Dr. **TEOFANES MEJÍA ANAYA**, Escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (\*)

QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condición de ser calificada 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, 26 de diciembre de 2023.

Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA  
PRESIDENTE

Mag. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR  
SECRETARIO

Dr. GUILLERMO CASTILLO ROMERO  
VOCAL

Dr. TEOFANES MEJÍA ANAYA  
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 SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



## ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada: **"EFECTO DE 3 LAMINAS DE AGUA APLICADO MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*) EN EL DISTRITO DE TINCO – PROVINCIA DE CARHUAZ-2022"**, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **LUIS SERGIO GARCÍA MÉNDEZ**, sustentada el día 26 de diciembre del 2023, con Resolución Decanatural N° 533-2023 - UNASAM - FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 26 de diciembre de 2023.

Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA  
PRESIDENTE

Mag. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR  
SECRETARIO

Dr. GUILLERMO CASTILLO ROMERO  
VOCAL

Dr. TEOFANES MEJÍA ANAYA  
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:

“EFECTO DE 3 LAMINAS DE AGUA APLICADO MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (Brassica Oleracea Var. Itálica) EN EL DISTRITO DE TINCO – PROVINCIA DE CARHUAZ-2022”

Presentado por: Bach. Luis Sergio García Méndez

con DNI N°: 46546400

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero 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 : ...15%... 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, 03/01/2024



FIRMA

Apellidos y Nombres: Teofanes Mejia Anaya

DNI N°: 31613572

Se adjunta:

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

## DEDICATORIA

A mi madre, Nona Filomena Solano García, por su apoyo inquebrantable e irrestricto y por poseer siempre la fortaleza para seguir adelante a pesar de los desafíos.

Mi esposa Shirley Cris Ponce e hijo Luis Adriano García Ponce, por enseñarme la perseverancia día a día y por encaminarme de la mejor manera.

Agradeciendo a mis tías Nelly Claudia Méndez Solano, Victoria Gloria Méndez Solano, Julia Nona Méndez Solano, a mis tíos Cristian Teodosio Rodríguez Olivera y Juan Carlos Méndez Solano.





## AGRADECIMIENTOS

Con profunda gratitud a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y en especial a la facultad de Ciencias Agrarias FCA, a los catedráticos, docentes y personal administrativo que contribuyeron a mi desarrollo académico y profesional.

A mi asesor y catedrático Dr. Ing. Teofanes Mejía Anaya por transmitirme su experiencia y asesorarme en la etapa inicial, hasta la etapa final y posterior culminación de mi trabajo de tesis.

Al Dr. Pedro Alejandro Colonia Cerna, Ing. Francisco Espinoza Mancisidor, Dr. Walter Juan Vasquez Cruz por ser parte de los miembros integrantes del jurado.

Al Ing. Cristian Teodosio Rodríguez Olivera por su apoyo constante.

A todos los integrantes de mi familia y amistades que se involucraron y apoyaron durante el proceso formativo personal, académico y profesional.

## LISTA DE CONTENIDO

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Lista de contenidos	iii
Índice general	iv
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Índice de anexos	ix
Índice de ecuaciones	xi



## RESUMEN

## ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Objetivos.....	4
1.1.1	Objetivo General.....	4
1.1.2	Objetivo Especifico.....	4
1.2	Planteamiento del problema.....	4
1.3	Hipótesis.....	7
1.3.1	Hipótesis de la investigación.....	7
1.3.2	Contrastación de la hipótesis.....	7
1.4	Variables.....	8
1.4.1	Variable independiente.....	8
1.4.2	Variables dependientes.....	8
1.5	Importancia de la investigación.....	8
II.	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1	Antecedentes.....	10
2.2	Bases teóricas.....	14
2.2.1	Cultivo del Brócoli.....	14
2.2.2	Aspectos agronómicos para la instalación del riego tecnificado.....	23
2.2.3	Riego por goteo.....	44
2.2.4	Tamaño de la muestra en investigación.....	47
2.2.5	Efecto de Borde.....	48
2.2.6	Definición de términos.....	49
III.	METODOLOGIA Y MATERIALES.....	50
3.1	Descripción del área de estudio.....	50
3.1.1	Ubicación del Campo Experimental.....	50
3.1.2	Diseño Experimental.....	50
3.1.3	Variables de Estudio.....	51
3.1.4	Descripción de los tratamientos.....	52
3.2	Materiales, equipos y herramientas.....	53
3.2.1	Materiales de campo.....	53
3.2.2	Materiales de escritorio.....	53



3.2.3	Herramientas .....	54
3.2.4	Equipos.....	55
3.2.5	Insumos.....	55
3.3	Metodología.....	56
3.3.1	Tipo de investigación .....	56
3.3.2	Análisis de suelo.....	56
3.3.3	Análisis del agua de riego .....	56
3.3.4	Tamaño de muestra del cultivo de brócoli .....	57
3.3.5	Manejo agronómico del cultivo del brócoli .....	57
3.3.6	Infiltración de agua en el suelo.....	60
3.3.7	Coeficiente de uniformidad de los goteros .....	60
3.3.8	Acondicionamiento e instalación del riego por goteo.....	61
3.3.9	Registro de la evaporación .....	62
3.3.10	Registro de precipitación .....	62
3.3.11	Programación del riego.....	62
3.3.12	Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli.....	63
3.4	Plan de procesamiento y análisis de la información.....	63
3.4.1	Rendimiento del cultivo de brócoli.....	63
3.4.2	Análisis estadístico .....	64
IV.	RESULTADOS.....	65
4.1	Tipo de investigación .....	65
4.2	Análisis de suelo.....	65
4.3	Análisis de agua de riego .....	65
4.4	Tamaño de muestra del cultivo de brócoli .....	66
4.5	Fenología del cultivo de brócoli.....	66
4.6	Infiltración de agua en el suelo.....	67
4.7	Coeficiente de uniformidad de los goteros .....	68
4.8	Acondicionamiento e instalación del riego por goteo.....	68
4.9	Registro de la evaporación .....	68
4.10	Registro de precipitación .....	69
4.11	Programación del riego.....	69
4.12	Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli.....	69
4.13	Rendimiento del cultivo de brócoli.....	73

4.13.1	Rendimiento del brócoli cabezas (kg/planta) .....	73
4.13.2	Rendimiento del brócoli peso de hojas (kg/planta).....	74
4.13.3	Rendimiento del brócoli diámetro de cabeza (cm/planta).....	75
4.13.4	Rendimiento del brócoli altura de planta (cm/planta) .....	76
4.14	Análisis del rendimiento del cultivo de Brócoli (Brassica Oleracea Var. Itálica).....	78
4.14.1	Análisis del rendimiento en términos de peso de pella o cabezas(kg/ha) .....	78
4.14.2	Análisis del rendimiento en términos de peso de hojas (kg/planta) .....	80
4.14.3	Análisis del rendimiento en términos de diámetro de cabeza (cm/planta) .....	81
4.14.4	Análisis del rendimiento en términos de altura de planta (cm/planta) .....	83
V.	DISCUSION .....	85
5.1	Tipo de investigación .....	85
5.2	Análisis de suelo.....	85
5.3	Análisis de agua de riego .....	85
5.4	Programación del riego.....	86
5.5	Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli .....	86
5.6	Rendimiento del cultivo de brócoli.....	87
5.7	Análisis del rendimiento del cultivo de brócoli.....	87
VI.	CONCLUSIÓN.....	89
VII.	RECOMENDACIONES.....	91
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
IX.	ANEXOS.....	99



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1. Brassica oleracea var itálic.	15
Figura 2.2. Formas que puede tener la cabeza del brócoli	15
Figura 2.3. Cultivo del brócoli y su relación con la humedad	17
Figura 2.4. El tanque evaporímetro clase A.	29
Figura 2.5 Instalación del tanque evaporímetro tipo A	31
Figura 2.6 Variación del factor de corrección por advección	38
Figura 2.7 Efecto de Borde	48
Figura 3.1 Croquis de ubicación e identificación de las parcelas	51

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Clasificación taxonómica del Brócoli ( <i>Brassica oleracea var. italica</i> )	18
Tabla 2.2: Codificación BBCH de brócoli ( <i>Brassica oleracea var italica</i> )	20
Tabla 2.3 Infiltración básica según el tipo de suelo	24
Tabla 2.4 Eficiencia de riego según la técnica de aplicación de agua	27
Tabla 2.5 Coeficiente (Kp) del tanque evaporímetro clase A	32
Tabla 2.6 Coeficiente del cultivo (Kc)	34
Tabla 3.1 Dosis de fertilización del brócoli por planta	59
Tabla 3.2 Análisis de Varianza DCA	64
Tabla: 4.1 Duración de los estados fenológicos del brócoli ( <i>Brassica oleracea var italica</i> )	66
Tabla 4.2 Valores promedios del ETo a partir del tanque tipo A	68
Tabla 4.3 Precipitación acumulada mensual en mm	69
Tabla 4.4 Coeficiente por localización (KI)	70
Tabla 4.5 Programación de lámina de riego para el día 1	71
Tabla 4.6 Rendimiento del cultivo de Brócoli (peso de pella)	73
Tabla 4.7 Rendimiento del cultivo de Brócoli (Peso de hoja)	74
Tabla 4.8 Rendimiento del cultivo de Brócoli (diámetro de pella o cabeza)	75

Tabla 4.9 Rendimiento del cultivo de Brócoli (Altura de planta cm)	76
Tabla 4.10 ANVA peso de pella o cabeza del cultivo de brócoli (kg/planta)	78
Tabla 4.11 Análisis Tukey de peso de pella o cabezas(kg/planta)	79
Tabla 4.12 ANVA Rendimiento del cultivo de Brócoli (Peso de hoja)	80
Tabla 4.13 Análisis Tukey Rendimiento del cultivo de Brócoli (Peso de hoja)	80
Tabla 4.14 ANVA Rendimiento del cultivo de Brócoli (diámetro por planta)	81
Tabla 4.15 Análisis Tukey Rendimiento del cultivo de Brócoli (diámetro por planta)	82
Tabla 4.16 ANVA rendimiento de brócoli (altura de planta)	83
Tabla 4.17 Análisis Tukey Rendimiento de brócoli (altura de planta)	84



## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Vista panorámica del área del proyecto	99
Anexo 2. Extracción de muestras de suelo y agua	100
Anexo 3. Análisis de fertilidad del suelo y análisis químico de aguas	102
Anexo 4. Diseño agronómico del cultivo de brócoli	105
Anexo 5. Instalaciones para la aplicación del riego por goteo.	106
Anexo 6. Instalación de evaporímetro clase A	109
Anexo 7. Medición del Caudal para Cu	109
Anexo 8. Medición del peso del producto por planta	110
Anexo 9. Cálculo de la infiltración en el suelo	111
Anexo 10. Coeficiente de uniformidad del emisor (gotero).	113
Anexo 11. Pluviómetro.	116
Anexo 12. Registro diario de la evaporación, precipitación y parámetros para el cálculo de la necesidad total diaria.	117
Anexo 13. Tratamientos y sus tiempos de riego $T_r$ (h).	120
Anexo 14. Resultados de los análisis estadísticos mediante software minitab	123
Anexo 14: Plano planta general de la tesis	130
Anexo 15: Labores culturales del cultivo de brócoli	131
Anexo 16: Plano diseño de riego	132



## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 2.1 Infiltración del agua en el suelo.	24
Ecuación 2.2 Densidad aparente ( $D_a$ )	25
Ecuación 2.3 Lámina neta de riego ( $L_n$ )	26
Ecuación 2.4 Eficiencia de riego ( $E_r$ )	26
Ecuación 2.5 Lámina bruta de riego ( $L_b$ )	27
Ecuación 2.6 Evapotranspiración de referencia (mm/día)	30
Ecuación 2.7 Evapotranspiración del cultivo ( $E_{Tc}$ )	33
Ecuación 2.8 Lamina Neta o Necesidades netas ecuación ( $N_n$ )	35
Ecuación 2.9 Coeficiente por efecto de localización ( $K_l$ )	36
Ecuación 2.10 Coeficiente por efecto de localización ( $K_l$ ) Aljiburi et al.	37
Ecuación 2.11 Coeficiente por efecto de localización ( $K_l$ ) Decroix	38
Ecuación 2.12 Coeficiente por efecto de localización ( $K_l$ ) Hoare et al.	38
Ecuación 2.13 Coeficiente por efecto de localización ( $K_l$ ) Séller	38
Ecuación 2.14 Lamina Bruta o Necesidades totales ( $N_t$ ).	39
Ecuación 2.15 Coeficiente por pérdida	40
Ecuación 2.16 Coeficiente por lavado	40



Ecuación 2.17 Requerimientos de lavado (RL)	41
Ecuación 2.18 Coeficiente de uniformidad (Cu)	42
Ecuación 2.19 Intervalo de riego (Ir)	43
Ecuación 2.20 Tiempo de riego (Tr)	43
Ecuación 2.21 Pluviosidad o precipitación horaria (pph)	44
Ecuación 2.22 Diámetro de bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco arenoso	46
Ecuación 2.23 Diámetro de bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco arcillo	46
Ecuación 2.24 Diámetro de bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco	46
Ecuación 2.25 Porcentaje de área humedecida (Pw)	46
Ecuación 2.26 Tamaño de la muestra en investigación	47

## RESUMEN

La producción del cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*) es limitada por tal motivo, la finalidad de esta investigación es plantear tres láminas de agua de riego por goteo sobre el rendimiento y producción del cultivo en mención. La investigación es de tipo experimental, se colocó un tanque contenedor evaporímetro de clase A para la obtención diaria de datos respectivas de la evaporación, de igual manera se preparó el terreno con arado con yunta y nivelado del terreno, se distribuyeron los surcos y parcelas. Se ejecuto el análisis de varianza ANVA con un 95% de confianza, de la misma forma se realizó el análisis de medias de TUKEY al 95% de confianza al rendimiento y producción del cultivo de brócoli var. itálica. Logrando conseguir una productividad media de: 0.88 kg/planta en el tratamiento T1, 1.09 kg/planta en el tratamiento T2, 0.78 kg/planta en el tratamiento tres T3 y como resultado final fue 0.39 kg/planta en el tratamiento testigo T4. Se deduce que las láminas de riego actúan de forma muy importante en el rendimiento cuantitativo y cualitativo del cultivo de brócoli variedad itálica, no obstante, el tratamiento T2 es el que arroja óptimos resultados como 55.01 % sobre el rendimiento del cultivo de brócoli variedad itálica.

**Palabra Claves:** Lámina de agua de Riego, influencia. Rendimiento

## ABSTRACT

The production of the Broccoli crop (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*) is limited for this reason, the purpose of this research is to propose three sheets of drip irrigation water on the yield and production of the crop in question. The research is experimental, a class A evaporimeter container tank was placed to obtain daily data on evaporation, in the same way the land was prepared with plowing with a team and leveling of the land, the furrows and plots were distributed. The ANVA analysis of variance was executed with 95% confidence, in the same way the TUKEY analysis of means was carried out at 95% confidence to the yield and production of the broccoli var crop. *italic*. Managing to achieve an average productivity of: 0.88 kg/plant in treatment T1, 1.09 kg/plant in treatment T2, 0.78 kg/plant in treatment three T3 and the final result was 0.39 kg/plant in the control treatment T4. It is deduced that the irrigation sheets act in a very important way in the quantitative and qualitative yield of the *Italica* variety broccoli crop, however, the T2 treatment is the one that yields optimal results such as 55.01% on the yield of the *Italica* variety broccoli crop.

## I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación esta referido al rendimiento productivo del Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*) interactuando con tres dosis de láminas de riego. Con el objetivo de conocer la influencia en la productividad del cultivo mencionado que es la respuesta de la aplicación de tres dosis de láminas de riego en condiciones edáficas y climáticas de la comunidad campesina Tahuantinsuyo, la cual se encuentra dentro del distrito de Tinco, provincia de Carhuaz.

En la zona sierra del Perú, la producción del cultivo de brócoli se encuentra en los rangos de 5.0 a 16.0 T/Ha. En el presente trabajo de investigación se pretende optimizar los rendimientos productivos y con esto superar las cifras antes mencionadas.

Mediante la toma de datos diarios de manera visual y directa de evaporación con el uso del tanque evaporímetro tipo A y el monitoreo diario de la precipitación diaria con la utilización de un pluviómetro, la cual fueron perfeccionadas en gabinete, estas fueron empleados en los tratamientos propuestos. Mediante la elaboración del análisis de varianza (ANVA) con un 95% de confianza para la comparación de las medias para el rendimiento productivo del brócoli, se contrastaron las hipótesis sugeridas. Al finalizar el trabajo de investigación se pudo observar y definir una optimización y aumento para su rendimiento productivo del brócoli bajo la influencia del uso de las láminas de riego, con respecto al rendimiento promedio nacional.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo General

Definir la influencia de tres láminas de agua de riego aplicada mediante el sistema de riego por goteo sobre el rendimiento productivo del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*) bajo condiciones edáficas y climáticas de la comunidad campesina Tahuantinsuyo ubicada dentro del distrito Tinco, provincia Carhuaz, Departamento Ancash.

### 1.1.2 Objetivo Especifico

1. Determinar el resultado de tres láminas de riego mediante el sistema de riego por goteo en el crecimiento del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*).
2. Calcular los márgenes superiores e inferiores hídricos del suelo las cuales están definidos como: punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC), utilizando métodos y datos obtenidos en campo y laboratorio.
3. Definir una lámina de riego ideal para la obtención del máximo rendimiento del cultivo de brócoli.

## 1.2 Planteamiento del problema

El consumo y la demanda de brócoli han aumentado recientemente a escala mundial, siendo Estados Unidos, Canadá, Japón y varias naciones europeas los mayores mercados. Esto se debe a que la gente se preocupa por llevar una dieta más saludable y las ventajas que tiene para su salud (García, 2018).

Debido al incremento de las áreas de siembra de 670 hectáreas en el 2000 a 4162 hectáreas en el 2019 y a un rendimiento de 13.5 toneladas por hectárea, la producción nacional de este cultivo en el país fue en aumento en los últimos 19 años, alcanzando las



56.39 toneladas en el 2019. Los productores más destacados de brócoli son Arequipa, La Libertad y Lima (MINAGRI, 2021).

Actualmente, los agricultores del Callejón de Huaylas utilizan prácticas agrícolas insuficientes. Algunas de estas prácticas incluyen una escasa o nula planificación, la utilización excesiva de pesticidas y abonos sintéticos para obtener un "efecto rápido", y otras. Además de estas cuestiones, la falta de orientación ha dado lugar a análisis inadecuados de los suelos. Puede caracterizarse como indiferencia y/o falta de atención. El resultado es un bajo rendimiento de los cultivos, que provoca bajas cosechas y precios bajos.

Un factor crucial y digno de mención en la obtención del brócoli, es la escasa o nulo conocimiento técnicos del agricultor o de acceso a información actualizada, lo que se traduce en mínima productividad en calidad y rendimiento del brócoli (Moreno, 2018).

Para obtener los máximos rendimientos, tanto en cantidad como en calidad, la eficiencia del riego y la cantidad de agua desempeñan un papel importante. Esto ayuda a garantizar que los agricultores puedan cultivar de forma rentable sus cosechas.

El valor nutritivo del brócoli, su patrón de crecimiento y, sobre todo, su valor comercial hace de él un cultivo que debe desarrollar todo su potencial y producir grandes rendimientos para satisfacer la demanda y reducir las pérdidas. Los escasos rendimientos, la baja calidad y costes excesivos de producción son el resultado de la escasez de investigaciones sobre las técnicas de cultivo del brócoli.

Para determinar la eficacia de la utilización del agua de riego resulta imperioso comprender cuánta agua es consumida por las plantas durante el fenómeno llamado evapotranspiración y cuánta agua de riego está disponible para este proceso (Allen et al.,

2006), y estimar estos componentes puede ser bastante complejo debido a que el clima, el suelo y los factores de cultivo son numerosos (FAO, 2006).

El brócoli se caracteriza por presentar un período vegetativo corto, elevado rendimiento, mayor adaptabilidad en diferentes condiciones ecológicas y superioridad en propiedades nutricionales y anticancerígenas.

El coste del recurso hídrico se encuentra estrechamente relacionada con la tecnología utilizada en la agricultura. El riego por goteo y la aspersión están consideradas de alta eficiencia, estas se utilizan en zonas donde el agua es cara o escasa, como en las nuevas tierras de Chavimochic por mencionar un ejemplo.

Entendemos entonces que resulta obligatorio considerar algún tipo, método o sistema de riego que sea amable con el medio ambiente y no requiera de tanta agua, para poder controlar la gran demanda hídrica que existe en el país. Este sistema debe proteger y prevalecer el medio ambiente y además ser productiva para que se puedan obtener los mejores productos agrarios. Bajo esta idea, se comienza a considerar al brócoli como una opción sustentable ante esta problemática.

El brócoli es un vegetal de bajo precio con muchas vitaminas y nutrientes con bajo contenido calórico. Si se puede garantizar su correcto cultivo, este puede aumentar su producción y alimentar a más familias peruanas, y quizá ser considerado para la exportación y mejorar la economía del país.

## 1.3 Hipótesis

### 1.3.1 Hipótesis de la investigación

#### Hipótesis nula (H0):

Las láminas de agua de riego por goteo no intervienen significativamente en el rendimiento productivo del Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*).

#### Hipótesis alterna (Ha):

Las láminas de agua de riego por goteo si intervienen significativamente en el rendimiento productivo del Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*).

### 1.3.2 Contrastación de hipótesis.

La producción del cultivo de brócoli en la comunidad campesina Tahuantinsuyo fue objeto de un estudio de medias (ANVA), teniendo en cuenta un intervalo de confianza del 95%, con el fin de obtener conclusiones y seleccionar la mejor hipótesis.

El arreglo estadístico se encuentra definido por variables en estudio (tratamiento y repetición), los grados de libertad, la suma de cuadrados medios de cada uno de los componentes definidos las cuales son los tratamientos y repeticiones propuestos en la tesis.

Se realizó el respectivo análisis de Varianza (ANVA), posteriormente se contrastó la hipótesis de la investigación con la comparación de la  $F_c$  (F calculado a través del análisis de varianza) y la  $F_t$  (F obtenida de la tabla de distribución de Tukey ya establecida) la cual se debe de considerar como se muestra a continuación:

**$F_{calculada} < F_{tabla}$**  Se deberá considerar la hipótesis nula, el rendimiento productivo del brócoli (*Brassica oleracea Var. Italica*) no se ve afectado significativamente por las láminas de agua de riego por goteo.

**Fcalculada > Ftabla** Se deberá aceptar la teoría alterna, el rendimiento productivo del brócoli (*Brassica oleracea variabilis*) se ve afectado significativamente por las láminas de agua utilizadas para el riego por goteo.

## 1.4 Variables

### 1.4.1 Variable independiente

láminas de agua para riego por goteo.

### 1.4.2 Variables dependientes

El rendimiento productivo del cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*).

## 1.5 Importancia de la investigación

El estudio realizado acepta emplear la ciencia y conocimientos adquiridos sobre técnicas de riego, especialmente al sistema de riego por goteo, relacionando elementos de suelo, agua, fisiografía del cultivo, clima y cultivo. El objetivo es aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos para maximizar el rendimiento del cultivo de brócoli. El agricultor notará un riego más uniforme y en menor tiempo empleando el uso mínimo de agua, aumentando así el rendimiento productivo del brócoli, siendo este último componente novedoso.

La investigación agrícola y los datos científicos del país están sesgados hacia la producción a gran escala o masiva, ignorando a los pequeños agricultores que carecen de información sobre el correcto acompañamiento y manejo de cultivos y estrategias con el riego que maximizarían sus cosechas.

Tras la culminación del proyecto de investigación y la obtención de datos respecto al rendimiento productivo del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*), se elimina una brecha de información respecto al rendimiento de este cultivo en el suelo y clima de la comunidad

campesina Tahuantinsuyo, que se ubica dentro del distrito Tinco, Provincia Carhuaz, Región Ancash (sierra del país).

Simultáneamente, resulta una base de datos de la cuota estimada de agua de riego que se debe de utilizar en cada etapa fenológica del brócoli tras la utilización y empleo de conocimientos, tecnologías y técnicas de riego, demostrando a los pequeños agricultores lo importante del uso de la tecnología en la agricultura.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### Internacional

Alba & Ortiz (2020) menciona que con el objetivo de identificar una lámina de riego que optimice el crecimiento y rendimiento productivo suficiente en la producción de semilla cuando se emplea en conjunto con el riego por aspersión. Se crearon tres parcelas utilizando un proceso de diseño de parcelas pareadas, basado en la relación matemática que establece que si  $A = B$  y  $B = C$ , entonces  $A = C$ . Se descubrió que, en términos de altura de planta, número de vainas, número de granos y mayor productividad de agua, la lámina con tratamiento dos (298mm) tuvo mejor desempeño.

Álvarez-Herrera et al. (2021) el estudio "Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cultivo en invernadero con diferentes láminas de riego" fue realizado en Colombia por con el objetivo de evaluar el impacto del riego en un invernadero. El estudio utilizó cuatro láminas de riego (0,7, 0,9, 1,1 y 1,3 de evaporación del tanque clase A) y nueve repeticiones en un diseño completamente aleatorizado. Utilizando un modelo experimental, se descubrió que la lámina de 1,3 producía mayores rendimientos. Además, se descubrió que, a medida que avanzaba el ciclo de cultivo, aumentaba la relación cáliz-fruto.

Mendoza et al. (2013) realizaron una investigación en Venezuela titulada "Efecto de cuatro láminas de riego y *Meloidogyne* spp. sobre características agronómicas y de rendimiento de tomate de mesa *Solanum lycopersicum* L." El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del nematodo *Meloidogyne* spp. (150 juveniles por 100 g de suelo) y cuatro tasas de riego (60, 80, 100 y 120 % de la evapotranspiración) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero. Ocho tratamientos y seis repeticiones constituyeron el arreglo factorial del



diseño completamente al azar empleado en esta investigación. Las variables agronómicas no se vieron afectadas por las láminas de riego, aunque el gusano *Meloidogyne* spp.

Chila & Esmeralda (2021) realizaron una investigación en Ecuador titulada: “Efecto de láminas de riego y fertilización sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao en Calceta, Manabí” Con la intención de evaluar cómo las estrategias de fertilización y las láminas de riego afectan la productividad y rentabilidad del cacao en Calceta, Manabí. La metodología empleada fue un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en arreglo factorial A x B + 2 con ocho tratamientos, tres repeticiones y veinticuatro unidades experimentales. Se descubrió que la incidencia y la severidad externa de la moniliasis, que son variables fitosanitarias, influyeron significativamente en la transmisión de la enfermedad durante la época lluviosa, así como cuando se utilizó riego.

Loqui & Proaño (2019) realizaron una investigación en Ecuador titulada “Evaluación de láminas de riego para el cultivo de arroz” el cual tuvo como objetivo determinar el comportamiento de indicadores productivos del cultivo de arroz, con el uso de diferentes láminas de riego. Como metodología se utilizó un diseño de bloques al azar(DBCA), tres grupos (5, 10 y 15 cm de lámina de riego respectivamente), 3 repeticiones por grupo y 12 parcelas. Se encontró que los mejores resultados se obtuvieron con 5cm de lámina de riego en el cultivo de arroz.

## Nacional

Castro (2018) realizó una investigación en Cajamarca titulada “Determinación de la lámina de agua en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Porvenir, Trujillo, La Libertad” con el objetivo de determinar la lámina de agua que influye en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en las parcelas de cultivo de la Agencia Agraria La Libertad comprensión del distrito El Porvenir en la provincia de Trujillo. El estudio empleó un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) y cinco tratamientos de riego distintos. Se ha descubierto que la cantidad de agua utilizada para el riego afecta inmediata y favorablemente a la producción de quinua.

Bancayán (2019) realizó una investigación en Piura titulada: “Evaluación de láminas de riego y eficiencia en los sistemas, utilizando sensores de humedad y modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz en la localidad de Mallares, Sullana, Piura” la cual tuvo como objetivo evaluar las láminas de riego y la eficiencia de aplicación, utilizando equipos de alta precisión, sensores de humedad del suelo y Modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz. La investigación utilizó un método cuantitativo para recopilar datos, calcular las láminas de riego utilizadas y evaluar la eficacia de los sistemas de riego.

## Regional

Vara (2015) realizó una investigación en Ancash titulada “Cultivo orgánico de arveja afila (*Pisum sativum* L.) variedad Uacen 2, con cuatro niveles de biol y tres niveles de compost, bajo las condiciones de la provincia de Carhuaz, Distrito de Marcará” con el objetivo de Comparar el efecto del compost como abono de fondo y el biol, en diferentes dosis aplicados foliarmente a la arveja afila, sobre el crecimiento y producción, en cultivo orgánico. Se utilizó

un Diseño Experimental de Bloque Completo al Azar con un arreglo factorial de 4 x 3 con 3 repeticiones, Resultados: Los resultados encontrados de mayor rendimiento de la arveja afila fueron: con el tratamiento: 21 BIOL 8000 Kg/ha de compost (T5), con 4637.33 Kilogramos por hectárea; y con el 6L BIOL 4000 Kg/ha de compost(T3), con 4006.00 Kilogramos por hectárea. Los pesos mayores de 100 granos se obtuvieron con los tratamientos: 2L BIOL 8000 Kg/ha de compost (T5), con 27.33 gramos; con el 8L BIOL 12000 Kg/ha de compost (T12), con 26.33 gramos; con el 41 BIOL 8000 Kg/ha de compost (T6), con 26.00 gramos y con el 6L BIOL 4000 Kg/ha de compost (T3), con 25.67 gramos. Se determinó que en los caracteres número de vainas por planta y número de grano por vaina, no se encontró diferencias entre los tratamientos, por tratarse de dos caracteres cualitativos, en el cultivo de arveja afila.

## **Local**

Cervantes (2018) realizó una investigación en Lima titulada “Análisis de cuatro láminas de riego en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv Katya) bajo condiciones de Cañete” Utilizando un modelo 2D y la reacción del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Katya) al riego por goteo, el objetivo era evaluar el impacto de cuatro láminas de riego en la distribución del agua. La metodología empleada consistió en utilizar un diseño de cuadrado latino con cuatro tratamientos y sus correspondientes repeticiones. Se descubrió una relación positiva y estadísticamente significativa entre las láminas de riego y el rendimiento del tomate. En comparación con los demás tratamientos, la lámina de riego con un 120% de ETc tuvo un mayor rendimiento.

Baltazar (2018), realizó una investigación en Lima titulada: “Rendimiento y calidad en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Toroty F1) empleando cuatro láminas de riego” con el objetivo de determinar el efecto de diferentes láminas de riego en el rendimiento y la calidad

de fruto en el cultivo de tomate. Se utilizó un diseño experimental para analizar la diferencia de diferentes tratamientos. El estudio reveló que la lámina de riego con un 125% de ETc presentaba un mayor rendimiento global y comercializable en comparación con los demás tratamientos.

Cerna (2018) realizó una investigación en Huaraz, titulada: “Aplicación de tres láminas de riego localizado para optimizar el rendimiento del haba (*Viciafaba L.*) en el CIE Cañasbamba – UNASAM – 2016” con el objetivo de aplicar tres láminas de riego localizado para optimizar el rendimiento del cultivo del haba (*Viciafaba L.*) en el CIE Cañasbamba – UNASAM – 2016. Se emplearon tres tratamientos y tres repeticiones en un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA). Se descubrió que el Tratamiento 1(100%), que aprovechaba toda la capacidad del campo de suelo, producía cosechas a la tasa más alta.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Cultivo del Brócoli**

El brócoli presenta una extensa lista de formas, y distintas secciones de la planta se utilizan como verdura en sus numerosas variantes consumibles. Dado que la mayoría de los tipos se cultivan desde hace tanto tiempo, no se conoce aún mucha información sobre sus orígenes. Aquellas variedades con inflorescencias comestibles precozmente grandes tienen nombres comunes en inglés de brócoli y coliflor (Gray, 1982).

El brócoli es una verdura popular en el Perú (ver Figura 2.1). Es una hortaliza clásica de invierno que tiene facilidad para adaptarse en ciertas regiones semidesérticas. Su altura oscila entre 0,60 y 1 metro. Produce una cabeza primaria, o pella, de unos 15 cm de diámetro, una inflorescencia inmadura comestible. Se forma en la parte central del tallo y tiene ramificaciones, como un pequeño árbol. Esta cabeza puede tener distintas tonalidades de color

verde, aunque algunas variedades pueden ser moradas y de distintas formas (ver Figura 2)  
(Zamora, 2016).



Figura 2.1. Brassica oleracea var itálic.  
Obtenido de: ABC Bienestar, (2021)



Figura 2.1. Formas que puede tener la cabeza del brócoli  
Obtenido de: Zamora, (2016).

## **Generalidades del cultivo**

El brócoli se cultiva mejor entre 15 °C y 25 °C (aunque el promedio óptimo es 16 °C). tolera temperaturas de congelación (hasta -2 °C) en ausencia de formación de inflorescencias. Su semilla tarda siete días en germinar entre 7 °C y 35 °C. Si crece en altas temperatura, suele tener un tamaño pequeño, cabezas deformes (ver Figura 2) o de color púrpura, causando una baja calidad. Si es de color amarillo, indica sobre madurez y senescencia, algo indeseable en el cultivo de brócoli (Zamora, 2016).

El brócoli crece en diferentes variedades de texturas de suelo, aunque para cultivarlo necesita un suelo bien drenado. En suelos arenosos, arcillo-limosos, se han observado rendimientos aceptables (si el suelo se ha preparado muy bien el terreno).

Se han reportado rendimientos aceptables en suelos arenosos, arcillolimosos (si se ha preparado bien el terreno). El brócoli es incluso levemente adaptable a suelos relativamente ácidos (6 – 6.8 pH). Asimismo, el brócoli tolera ligeramente las sales del suelo (hasta 2.86 dS/m). No obstante, en suelos de tipo arenosos puede llegar hasta 5.0 dS/m y en suelos medios hasta 2.8 dS/m. La producción de brócoli se vería reducido en un 10% a 4 dS/m y en hasta un 50% a 8 dS/m (Zamora, 2016).

El brócoli es bastante sencillo de trasplantar; sin embargo, se recomienda que se trasplante en la mañana temprano o en la tarde-noche de preferencia en días nublados para reducir el estrés de las plantas. El momento es muy importante porque puede determinar el rendimiento y la calidad del brócoli. Si se hace muy tarde se puede producir un abotonamiento (menos tamaño y peso de cabeza), y plantas muy tiernas no tolerarán su nuevo hogar y el estrés de no tener agua por unos momentos, porque son



muy frágiles y susceptibles al daño físico. Se cree que un brócoli está listo cuando tiene de 3 a 5 hojas y un rango de 20 y 15 cm de alto.

Debido que las raíces del brócoli sólo llegan a los 30 cm, los riegos no deben pesados, y no deberían ser frecuencias largas, es decir los riegos deben de ser ligeros y frecuentes para que el cultivo siempre tenga humedad. Cualquier desbalance de humedad puede ocasionar maduración prematura de las cabezas y, por ende, baja calidad. Es posible que el brócoli pueda necesitar una lámina total de agua de aproximadamente 50 cm durante el otoño-invierno. Al inicio de la formación de la cabeza y durante su desarrollo el cultivo necesitara más agua disponible (Zamora, 2016).

Asimismo, el riego puede ser por gravedad o por goteo. El sistema sprinkler puede ser utilizado al principio en temperaturas altas, para el establecimiento del cultivo, pero después debe ser irrigado por gravedad en surquerías. El brócoli suele necesidad de 6 a 8 riegos durante toda su temporada, aunque estos requerimientos variarán según la fecha de la siembra.



Figura 2.3. Cultivo del brócoli y su relación con la humedad en Meza. Obtenido de: Zamora, (2016).

## *Taxonomía*

La United States Department of Agriculture (USDA, 2020) propone la siguiente jerarquía taxonómica.

**Tabla 2.1:** Taxonómica del Brócoli (*Brassica oleracea var. italica*)

*FUENTE: USDA (United States Department of Agriculture), 2020*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Capparales
Familia	Brassicaceae/Cruciferae
Genero	Brassica L.
Especie	Brassica oleracea L.
Variedad	Brassica oleracea L. var. italica Plen

## *Morfología*

Como planta herbácea, el brócoli tiene raíces principales y secundarias con profundidades que se encuentran de 20 a 30 centímetros de profundidad. Las grandes hojas lobuladas, de 25 a 40 cm de longitud, se insertan en los cortos entrenudos del tallo principal. El peciolo es largo(impermeable). Por otro lado, los bordes son rizados y lisos,

característicos con un color verde oscuro a violeta azulado obedeciendo a la variedad (Jaramillo et al., 2016; Large & Quintero, 1999; Toledo, 2003).

### ***Inflorescencia.***

En el ámbito comercial del cultivo se considera la inflorescencia, se compone de muchas flores inmaduras que se recogen. Y ésta, que es firme y compacta, recibe en el mercado el nombre de "cabeza", es compacta y firme, forman brotes laterales con inflorescencia. De igual modo, estas por lo general son de color verde oscuro o violeta dependiendo de la especie y variedad (Jaramillo et al., 2016; Large & Quintero, 1999; Toledo, 2003).

### ***Frutos y flores***

Flores actinomorfas, de un color amarillento, posee cuatro pétalos libres distribuidas a manera de cruz, como no pueden coexistir, son entomófilas, o de polinización cruzada.

El fruto es de estructura redonda, reducido tamaño y de una coloración marrón a rojizo con semillas de configuración aplastada o achatadas (Jaramillo et al., 2016; Large & Quintero, 1999; Toledo, 2003).

### ***Fenología del brócoli***

Hay diez fases en el estado fenológico y el desarrollo del cultivo del brócoli: la germinación, la maduración y la senescencia son las últimas etapas. En nuestro proyecto sólo consideraremos las tres primeras fases hasta la recolección, esta se encuentra establecida según la codificación fisiológica BBCH (Meier et al., 2001).

**Tabla 2.2: Codificación BBCH de brócoli (*Brassica oleracea* var *italica*)**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
Estadio	Principal de crecimiento 0. Germinación
00	Semilla seca
01	Inicio de imbibición de la semilla
03	Imbibición de la semilla completa
05	Emergencia de la radícula.
07	Hipocótilos y cotiledones atraviesan el tegumento seminal.
09	Emergencia: los cotiledones rompen la superficie del suelo.
Estadio	Principal de crecimiento 1. Desarrollo de hojas (tallo principal)
10	Cotiledones completamente abiertos; punto de crecimiento de las primeras hojas verdaderas visibles.
11	Formación de la primera hoja verdadera
12	Formación de la segunda hoja verdadera
13	Formación de la tercera hoja verdadera
1...	Estado continuo hasta...
19	Formación de la novena a más hojas verdaderas
Estadio	Principal de crecimiento 2. Formación de brotes laterales
21	Primer brote lateral visible.
22	Segundo brote lateral visible
23	Tercer brote lateral visible.
2...	Estado continuo hasta...
29	Noveno a más brotes laterales visibles

FUENTE: Meier et al., 2001

El material genético que utilicemos estará estrechamente relacionado con cada fase de desarrollo; puede tratarse de variedades precoces, medias o tardías.

### ***Requerimientos edafoclimáticos***

**Clima.** el brócoli es una hortaliza que se desarrolla muy bien en climas templados y fríos, también prospera de manera óptima con una temperatura entre 15 a 18°C. (Moreno, 2018; Toledo, 2003).

**Suelo.** El brócoli crece mejor en suelos ricos, bien drenados, profundos y de textura media. El suelo debe tener una buena dosis de material orgánica y suficiente capacidad de contención de agua. Características no menos importantes son el pH neutro y la presencia nula de salinidad (Toledo, 2003).

**Agua.** El brócoli es especialmente vulnerable a la deshidratación durante la época en que su ritmo de crecimiento se encuentra en el índice más elevado de desarrollo y crecimiento. La presencia de elevada cantidad de salinidad en el agua de riego afecta significativamente al cultivo (Moreno, 2018).

### ***Labores del cultivo***

**Almacigo y trasplante del cultivo.** A la hora de trasplantar, algunas medidas de seguridad a seguir son: seleccionar plántulas robustas con cuatro a seis hojas. Seleccione el momento ideal para el trasplante, evite compactar demasiado la tierra, evite dañar las raíces y entierre las plántulas sólo lo suficiente para que sus cuellos queden expuestos por encima de la superficie de la tierra. Se debe de evitar cortar o dañar las raíces y hojas, saturar la tierra al momento de trasplantar (Cáceres, 2009).

El cultivo del brócoli se debe sembrar en forma de almácigos 35 días antes del día destinado para trasplante en el lugar de cultivo definitivo (Bolea, 2002).

La siembra tradicionalmente se lleva a cabo por almácigos, esta es la forma tradicional, la cual se realiza en sustratos mullidos preparados y ricos en material orgánico, una vez la plántula alcanza alturas en un rango de 2 a 15 cm de alto o de 5 a 4 hojas verdaderas se consideran listas para el trasplante a terreno definitivo (Instituto Rural Valle Grande, 1994).

**Plantación.** Una hectárea afincada de brócoli se requiere una numero de 40 000 a 30 mil plantas, estas serán distribuidas de 40 a 50 cm entre plantas y de 60 – 75 centímetros de eje a eje entre surcos. El proceso de sembrado se debe de realizar preferentemente en los días nublados y por consiguiente fríos, el suelo deberá de estar a capacidad de campo o humedecido (Hidalgo, 2007).

**Riego.** Durante la fase de crecimiento, se recomienda un riego reiterado y cuantioso, en la fase de inducción floral y formación de pella, conviene que el suelo esté sin excesiva humedad, pero sí en estado de tempero (Infoagro, 2002).

**Fertilización.** Dado que el brócoli es producto de hibridación resulta necesario fertilizar de manera abundante, dicho esto se traduce en que la cantidad de fertilizante necesaria para el cultivo tendrá que estar en un margen quintuplicado en comparación de otros cultivos, la dosificación es de 150 g. por planta (Rodríguez 2010),

**Cosecha.** Según Rodríguez (2010) la inflorescencia o pella del brócoli pueden cosecharse, cuando estas alcanzan una buena dimensión, es de cosecha periódica y debe realizarse antes de que entre a la etapa de la apertura y maduración de la flor.

Una segunda cosecha es posible para el brócoli, la diferencia con la primera cosecha es que la inflorescencia es más pequeña. Se debe de tener en cuenta que la inflorescencia esta lista para la cosecha cuando alcanza 150 gramos o superior a esta

### ***Principales plagas del cultivo***

la enfermedad más importante es el mildiu (*Peronospora parasítica*,) que afecta principalmente a nivel de almacigo, la mayoría de los híbridos comerciales se han desarrollado con resistencia a esta enfermedad en los EE.UU. (Delgado de la Flor, 1988).

Las principales plagas del brócoli son los comedores de hojas (*Pseudoplusia includens* *Pieris monuste*), los pulgones (*Brevicoryne brassicae*), las lombrices (*Feltia spp.*, *Agrotis spp.*) y los barrenadores de los brotes (*Helluda undalis*) (Delgado de la Flor, 1988),

## **2.2.2 Aspectos agronómicos de la instalación de riego tecnificado**

### ***RASPA (Relación del suelo, agua y planta).***

Al iniciar un trabajo de investigación, es imprescindible comprender que el vínculo o relación no es indistinto el uno del otro. El estudio de este sistema constituye lo que se denomina “Relación, Agua, Suelo, Planta, Atmosfera” (RASPA) cuyo conocimiento es clave para el profesional que tiene la responsabilidad de planificar cuándo y cuánto regar, considerando que lo que interesa es obtener el mayor rendimiento posible y el mayor beneficio (Marcelo M. A. & Grosito Stella M., 2018).

## ***Infiltración.***

Existen varias técnicas para el cálculo de los parámetros de la infiltración (Walker W. R. y Skogerboe G. V., 1987). La ecuación que permite determinar la infiltración acumulada (Iacum) está dada por Kostiakov (1932) y mejorada por Philips (1957) puede indicarse mediante la siguiente expresión:

$$d = k \cdot t^m \quad (2.1)$$

Donde:

$d$  = infiltración acumulada en el tiempo  $t$  (mm/min)

$k$  = constante que depende de la estructura inicial del suelo (en seco).

$m$  = constante que depende de la estabilidad de la estructura del suelo frente al agua,  $0 < m < 1$

$t$  = tiempo (min)

### **Tabla 2.3**

#### *Infiltración esencial según la clase de suelo*

Tipo de suelo	mm/h	Tipo de suelo mm/h
Arenoso grueso	25 a 60	Franco arcilloso 7 a 10
Arenoso fino	18 a 25	Arcillo limoso 4 a 7
Franco arenoso	14 a 18	Arcillo compacto 2 a 5
Franco limoso	10 a 14	

**Nota:** Márgenes de aceptación de la infiltración básica según el tipo de suelo, *conceptos sobre Diseño y Manejo de Riego Presurizado* (Roberto P., 2011)



### ***Capacidad de campo (CC).***

Según la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (2018), se encuentra definida por el volumen de agua que permanece en el suelo posteriormente de haber sido fuertemente saturado para riego y dejado drenar naturalmente por un periodo de 24 a 48 horas. Se puede adicionar o acotar que la capacidad de campo es aquel estado energético corresponde a un a que en el suelo es alrededor de 0.33 bar para un suelo pesado (arcilloso) y de 0.10 bar para un suelo de textura gruesa (arenoso) (Vasquez V. A., & Vasquez R. I., 2015).

### ***Punto de marchitez permanente (PMP).***

Se entiende que es el volumen o contenido de humedad que contiene el suelo cuando el agua está retenida a 15 bar (Vasquez V. A., & Vasquez R. I., 2015). Puede definirse como el estado del contenido de agua y humedecimiento que presenta el suelo cuando las plantas no absorben agua en absoluto o la absorben muy lentamente, lo que conduce a un proceso de marchitamiento irreversible.

### ***Densidad aparente (D.a.)***

La d.a. se encuentra definida por la masa de suelo por unidad de volumen, representada por las unidades: g/cm<sup>3</sup> o t/m<sup>3</sup> (Keller T. & Hakansson I, 2010). Explica cómo influye la compactación del suelo sobre el vínculo entre sólidos y espacio libres o porosos.

$$D_a = m/v \quad (2.2)$$

Donde:

$D_a$  = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

$m$  = peso del suelo (g)

$v$  = volumen del suelo (cm<sup>3</sup>)

### ***Lámina neta de riego (Ln).***

Esta definida por la cuantía de agua que se debe reponer al cultivo mediante el riego, para que éste no padezca de problemas por agotamiento o estrés hídrico (Torres Zambrano J. P. et al, 2008) y está dada por:

$$Ln = ETc - Pe \quad (2.3)$$

Donde:

Ln = lámina neta de riego (mm).

ETc = evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Pe = precipitación efectiva (mm/día)

### ***Eficiencia de riego (Er).***

Se encuentra determinada por la eficacia de la conducción en la distribución principal, eficacia de distribución en las redes laterales y la eficacia de empleo a nivel de terrenos, el resultado de estas nos determina la eficacia de las técnicas de riego (Ministerio de Agricultura y Riego, 2012). La siguiente ecuación proporciona la eficiencia del riego:

$$Er = Ec \times Ed \times Ea \quad (2.4)$$

Donde:

Er = eficacia de riego

Ec = eficacia de conducción

Ed = eficacia de distribución

Ea = eficacia de aplicación

**Tabla 2.4**

*Eficacia de riego según la técnica de aplicación de agua*

Método de riego	Er (%)
Riego tendido	20 – 30
Surco	30 – 60
Surco en curva de nivel	40 – 70
Riego por surco mediante pulsos de riego	40 – 85
Platabanda	65 – 85
Aspersión	70 – 85
Microaspersión	85 – 90
Goteo	90 – 95
Tubería exudante	90 - 95

**Nota:** Porcentaje de aceptación de la eficiencia de riego según la técnica de riego a aplicar (Adaptado de *Riego y drenaje* p. 131) (Instituto Nacional de Investigación Agraria [INIA] citado por Medina L., 2015)

***Lámina bruta de riego (Lb)***

Se encuentra definido por el vínculo existente entre el área y la cuantía de agua donde se emplearía y se expresa en milímetros (Morí A. M.,2015). Esta se deduce como:

$$Lb = Ln/Er \quad (2.5)$$

Donde:

Lb = lámina bruta de riego (mm)

Ln = lámina neta de riego (mm)

Er = eficiencia de riego.

### ***Evapotranspiración (Et).***

Es difícil distinguir un proceso del otro cuando la transpiración y la evaporación se producen simultáneamente o al mismo tiempo. Por el contrario, el volumen de agua que se evapora en los horizontes superficiales del suelo cultivado viene vinculada estrechamente y se encuentra determinada según cantidad de radiación solar que influye directamente en la superficie del suelo. En cuanto el dosel del cultivo proporcione una mayor área sombreada en el suelo durante su ciclo de vida del cultivo, esta proporción disminuye (Montes Caurino E. J. p.25, 2019).

El desperdicio de agua en el suelo ocurre principalmente por efecto de la evaporación en los estados iniciales de existencia de un cultivo, medidos en años. Conforme el cultivo envejece y se desarrolla, las ramas y hojas que han crecido a lo largo del tiempo cubren el suelo, ocasionando que la transpiración sea el factor principal. Casi toda la evaporación que se produce durante la plantación (100% de la Et) se encuentra durante el proceso de evaporación, por lo contrario, más del 90% de la Et se produce cuando la cubierta vegetal está totalmente establecida en forma de transpiración (FAO, 2006).

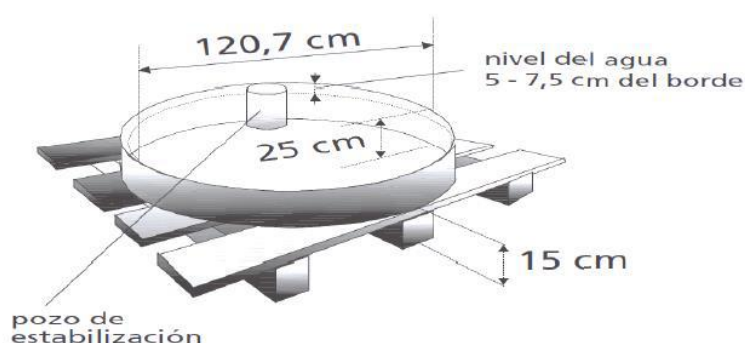
### ***Evapotranspiración de referencia (ETo).***

La evapotranspiración de referencia de una superficie que se produce sin restricciones de agua se define como ETo o evapotranspiración de referencia. Un cultivo de pasto con características particulares, por ficticias que sean, proporciona el área o superficie de referencia, no se recomienda el uso de otras denominaciones como evapotranspiración potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición (FAO, 2006, p.7).

### *El tanque evaporímetro clase A.*

El tanque evaporimétrico de clase A corresponde a un diámetro de 120,7cm y con una profundidad de 25cm. Tiene forma circular. Su estructura está compuesta de chapa metálica 0,8 mm. de espesor, el tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo (FAO, 2006.p.84).

**Figura 2.4.**



**Nota:** Parámetros a considerar para la instalación del tanque evaporímetro tipo A (FAO, 2006)

El Tanque debe estar muy bien nivelado. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7.5 cm por debajo del borde (FAO, 2006, p.84).

Mediante la observación meticulosa de la pérdida de agua por evaporación de la superficie y el empleo de coeficientes prácticos para mancomunar la evaporación del tanque con la ETo.

El tanque de clase A tiene un uso eficaz y se ha usado con éxito en el cálculo de la evapotranspiración de referencia (FAO, 2006).

La evaporación del tanque está vinculada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente práctico resultado del mismo tanque (FAO, 2006). Mediante la siguiente ecuación:

$$E_{To} = E_{pan} \times K_p \quad (2.6)$$

Donde:

$E_{To}$  = evapotranspiración de referencia (mm/día)

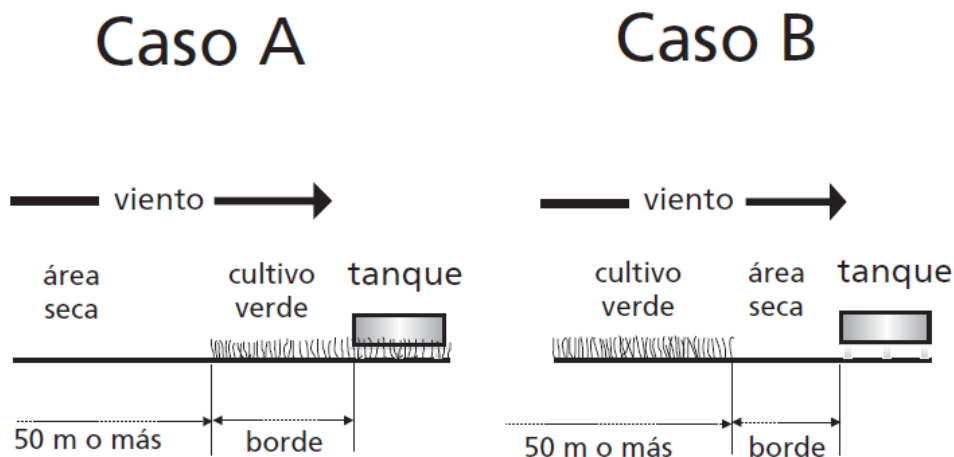
$E_{pan}$  = evaporación en el tanque evaporímetro (mm/día)

$K_p$  = coeficiente del tanque evaporímetro (tanque clase A)

El coeficiente de clase o bandeja ( $K_p$ ) Tabla 2.5 puede utilizarse para generar un coeficiente de tanque que tenga en cuenta los impactos integrados de la temperatura, el viento, la radiación, la humedad relativa del aire y la ubicación del tanque.

La figura 2.5 ilustra que el tanque de evaporación se considera y evalúa como caso A cuando está situado en un área de hierba pastorial corto y está rodeado de tierra en barbecho, y como caso B cuando está situado en tierra en barbecho y está se encuentra rodeada de un cultivo pastorial verde.

Figura 2.5



(FAO, 2006. p.76)

### *Coefficiente del tanque evaporímetro ( $K_p$ )*

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque (figura 2.5), sus alrededores, así como el viento y las condiciones generales de humedad (FAO, 2006. p.80).

El método propuesto por Doorenbos & Pruitt (1997) es más comúnmente presentado en literatura, el valor de  $K_p$  está dado en función de velocidad de viento, humedad relativa media y las condiciones de distancia de cultivo a barlovento con respecto a la ubicación del tanque tipo A (tabla 5) (Paulo C. 2013. p.116).

Si el emplazamiento del depósito no dispone de las referencias de contenido de humedad relativa y velocidad del viento para calcular  $K_p$ , esos valores deberán aproximarse utilizando la información de una estación vecina. Se aconseja emplear promedios de periodo

en esta situación y, como resultado, también se determinará y tendrá en cuenta Epan (FAO, 2006).

**Tabla 2.5**

*Coficiente (Kp) del tanque (Clase A) evaporímetro*

Tanque	Caso A: Tanque situado			Caso B: Tanque situado				
Clase A	en una superficie cultivada			en un suelo desnudo				
HR media	Baja	Media	alta	Baja	Media	Alta		
	< 40	40 – 70	> 70	< 40	40 – 70	> 70		
Velocidad del viento	Distancia del cultivo a			Distancia del cultivo a				
	barlovento			barlovento				
m/s	(m)			(m)				
Baja	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
< 2	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1 000	0.75	0.85	0.85	1 000	0.5	0.6	0.7
Moderada	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
2 – 5	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
	1 000	0.7	0.8	0.8	1 000	0.45	0.55	0.6
Alta	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
5 - 8	10	0.55	0.6	0.65	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6

**Nota:** Estimaciones del coeficiente Kp del tanque evaporímetro tipo A según su localización, la humedad relativa y la velocidad de viento presente en la zona *Evapotranspiración del cultivo* (FAO, 2006, p. 81).



### ***Evapotranspiración del cultivo (ETc).***

La desemejanza existente entre la evapotranspiración del área cultivada y el área de pasto de referencia se expresa en forma de un factor denominado evapotranspiración del cultivo.

Esta diferencia puede dividirse en dos variables que representan cada una las variaciones de transpiración y evaporación entre las dos superficies, o combinarse en un coeficiente de cultivo único o integrado, la clasificación de la técnica que se empleará estará determinada por la finalidad del cálculo, el rigor requerido, el acceso a la base de datos climáticos y la escala temporal con la que se realizaron los cálculos requeridos (FAO, 2006, p.97-98).

La evapotranspiración de un cultivo difiera a la del cultivo de referencia (ETo) de acuerdo a que la configuración de cobertura del suelo, potencia aerodinámica y cualidades de la vegetación se distingan de las pertenecientes al pasto.

El factor del cultivo (Kc), los efectos representativos que distinguen al cultivo del pasto están dentro, en la metodología del factor del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se define del producto de ETo por Kc (FAO, 2006, p.89).

$$ETc = ETo \times Kc \quad (2.7)$$

Donde:

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo = evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc = coeficiente de cultivo

### *Coefficiente del cultivo (Kc).*

Teniendo presente el nivel de cobertura del suelo, el factor del cultivo expresa la variación en la vegetación a durante el periodo vegetativo, la diferencia del factor Kc a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo (FAO, 2006, p.109).

**Tabla 2.6**

### *Coefficiente del cultivo (Kc).*

Cultivo	$K_{c\text{ini}}$	$K_{c\text{med}}$	$K_{c\text{fin}}$
<b>a. Hortalizas Pequeñas</b>	<b>0,7</b>	<b>1,05</b>	<b>0,95</b>
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95
Col de Bruselas		1,05	0,95
Repollo		1,05	0,95
Zanahoria		1,05	0,95
Coliflor		1,05	0,95
Apio (Céleri)		1,05	1,00
Ajo		1,00	0,70
Lechuga		1,00	0,95
Cebolla – seca		1,05	0,75
– verde		1,00	1,00
– semilla		1,05	0,80
Espinaca		1,00	0,95
Rábano		0,90	0,85
<b>b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas</b>	<b>0,6</b>	<b>1,15</b>	<b>0,80</b>
Berenjena		1,05	0,90
Pimiento Dulce (campana)		1,05 <sup>2</sup>	0,90
Tomate		1,15 <sup>2</sup>	0,70–0,90
<b>c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas</b>	<b>0,5</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>
Melón	0,5	0,85	0,60
Pepino – Cosechado Fresco	0,6	1,00 <sup>2</sup>	0,75
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90
Calabaza de Invierno		1,00	0,80
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75
Melón dulce		1,05	0,75
Sandía	0,4	1,00	0,75

El valor de  $K_c$  cambia con la fase del cultivo y no se ve afectado significativamente por el clima. Esto hace que sea posible utilizar y transferir estos valores estándar de coeficiente de cultivo a través de diversas zonas climáticas y ubicaciones geográficas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo, así como de los valores de  $K_c$  desarrollados en estudios anteriores (FAO, 2006, p.90).

***Lamina Neta o Necesidades netas de agua (Nn).***

Altamente restringido la función del suelo como contenedor de agua por lo que los cálculos estimados de los requerimientos o necesidades netas de agua de riego localizado tienen amplia significación que en otros sistemas de riego tecnificado (Salas A. F. y Urrestarazu L, 2008). Esta estimación se obtiene utilizando factores correctores que dan lugar a utilizar los similares procesos usados en los otros sistemas.

Definido por:

$$Nn = (ET_c \times K_l \times K_r \times K_a) - P_e - A_c - A_a \quad (2.8)$$

Donde:

$Nn$  = necesidades netas (mm/día)

$ET_c$  = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$K_l$  = coeficiente por efecto de localización

$K_r$  = coeficiente por variación climática

$K_a$  = coeficiente de variación por advención

Pe = precipitación (mm/día)

Ac = aporte de agua capilar, que se debe de considerar en el caso de que el nivel freático este próximo.

Aa = aporte del agua almacenada (Dado que el objetivo del riego de alta frecuencia es restituir instantáneamente el agua extraída en lugar de malgastar energía en deducir el agua almacenada por encima del límite diario, este número no se tiene en cuenta en estas situaciones)

### ***Coefficiente por efecto de localización (Kl)***

Definido como el porcentaje de área sombreada (A), considera la fracción de área sombreada proporcionada por la planta con vinculación a la área de plantación o superficie ocupada por cada planta (Salas A. F. y Urrestarazu L. 2008).

La superficie sombreada estará definida por la influencia de la cobertura vegetal circulado con el terreno del perímetro (Boswell M. J., 1998).

La siguiente ecuación da como resultado la fracción de área mojada.:

$$A = \pi D^2 / 4 S_p \quad (2.9)$$

En el cual:

A = fracción o área de área mojada

D = diámetro de la copa o distancia ecuatorial (m)

S<sub>p</sub> = marco o area de plantación (m<sup>2</sup>)

Diferentes investigaciones, cuantiosos autores realizaron investigaciones sobre la vinculación entre “Kl” y “A” (Salas A. F. y Urrestarazu L., 2008) y (Boswell M. J., 1998) obteniendo las ecuaciones:

Aljiburi et al.

$$Kl = 1.34 \times A \quad (2.10)$$

Decroix

$$Kl = 0.1 + A \quad (2.11)$$

Hoare et al.

$$Kl = A + 0.5 \times (1 - A) \quad (2.12)$$

Séller

$$Kl = A + 0.15 \times (1 - A) \quad (2.13)$$

Donde:

Kl = coeficiente por el efecto de localización

A = fracción de área mojada

En la práctica se toma como valor de Kl la media de los valores obtenidos.

### ***Coficiente por variación climática (Kr)***

Las demandas calculadas se limitan a la mitad del periodo indicado por los valores de ETc, que representan la media de un número determinado de años de variables climáticas. Dado que la medida de agua necesaria para el riego localizado

puede aplicarse con gran precisión, es conveniente aumentar estos requerimientos en un 15 al 20%; por ello,  $K_r$  usa valores comprendidos entre 1,10 y 1,20 (Salas A. F. y Urrestarazu L., 2008)

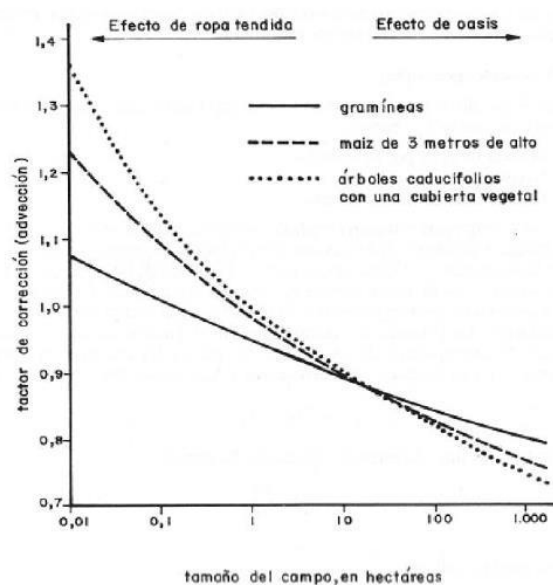
### ***Variación por advección ( $K_a$ )***

Dado que el microclima que influye en el cultivo depende del tamaño de la zona regada, de las características del terreno circundante y del propio cultivo, las secuelas del movimiento del aire por advección poseen un impacto significativo en él (Boswell M. J., 1998) y (Salas A. F. y Urrestarazu L., 2008).

Este coeficiente depende del tamaño de la zona de riego, para estimar su valor se utiliza una curva publicada por la FAO (1976) citada por Grassi (1998)

### **Figura 2.6**

#### *Variación del factor de corrección por advección*



**Nota:** Curva utilizada para estimar el valor del coeficiente de corrección por Advección según el área de riego. (*Fundamentos de riego*. De Grassi C., 1998. ULA-CIDIAT)

El microclima del cultivo será muy distinto en caso de parcelas pequeñas, según esté rodeado de una masa verde o de un terreno sin cultivar, lo que origina un aire más caliente, en otro caso el coeficiente  $K_a$  vendrá en función del tamaño de la superficie regada y de la naturaleza del cultivo (figura 2.6). No se deberá tener en cuenta sólo la parcela en cuestión, irrestrictamente se deberá tener en cuentas aquellas parcelas que son de regadío y que son circundantes.

***Lamina Bruta o Necesidades totales (Nt).***

Resulta imprescindible contribuir cantidades complementarias para subsanar los desperdicios ocasionados por percolación penetrante, por consonancia de riego y por salinidad, por consiguiente, las exigencias totales son superiores a las necesidades netas (Salas A. F. y Urrestarazu L., 2008)

$$N_t = N_n / (1 - K) \times C_u \quad (2.14)$$

Donde:

$N_t$  = necesidades totales (mm/día)

$N_n$  = necesidades netas (mm/día)

$K$  = coeficiente (por pérdida o lavado)

$C_u$  = coeficiente de uniformidad

En el caso de pérdidas.

$$K = (1 - E_a) \quad (2.15)$$

En el caso de lavado.

$$K = RL \quad (2.16)$$

Donde:

K = coeficiente (por pérdida o lavado)

E<sub>a</sub> = eficiencia de aplicación

RL = requerimientos de lavado

Se valor más alto de k es el que se considera.



### ***Requerimientos de lavado (RL)***

Resultaría beneficioso que la precipitación se adhiriera a esa mejora y no involucrar al riego todas las exigencias de lavado (Pizarro F., Ed. Agrícola, Madrid., 1985), Una técnica de cálculo menos eficaz pero más sencilla consiste en utilizar la siguiente ecuación para determinar el RL:

$$RL = C_{Ea} / 2 C_{Eex\ max} \quad (2.17)$$

RL = requerimiento de lavado

$C_{Ea}$  = conductividad eléctrica del agua usada para el riego (dS/m)

$C_{Eex\ max}$  = es la conductividad eléctrica máxima del extracto de saturación del suelo para un rendimiento esperado del cultivo (dS/m); Es típico elegir un rendimiento esperado del 100%, o una caída del rendimiento del 0%.

### ***Coefficiente de uniformidad (Cu)***

La programación de riego usualmente se lleva a cabo con el caudal nominal de los emisores otorgada por el creador, no obstante, este caudal difiere según las condiciones como son calidad de agua y factores climáticos y calidad de agua del área en el que se realizará el riego, resultando que el caudal nominal será diferente del caudal real (Cardoso M. B., & Montiel V. Á., 2016).

La ecuación para evaluar el factor o coeficiente de uniformidad  $C_u$  partiendo de ensayos de campo, determinada como la ecuación del cuarto menor (Merriam J. L. and Keller J., 1978). Los sistemas de riego existentes son evaluados mediante esta ecuación.

$$Cu = (q_{25\%}/q) \times 100 \quad (2.18)$$

Donde:

$Cu$  = coeficiente de uniformidad

$q_{25\%}$  = es la media del 25% de los caudales mínimos, medidos en los emisores (l/h)

$q$  = es la media de todos los caudales expresados por los emisores (l/h)

Existe una sobrevaloración en el coeficiente de uniformidad, ya que no considera los factores hidráulicos, los efectos que ocasionan la variación de fabricación de los emisores, el diferente drenaje de los emisores, obturación de emisores y cantidad de los emisores, solamente toma valores de caudal (Merriam J. L. and Keller J., 1978).

### ***Precipitación efectiva ( $P_e$ )***

Es un fragmento de precipitación total acaecida y es captada por las plantas. Obedece a diversas circunstancias como quizás serían la aridez del clima o la magnitud de la precipitación y otros factores como resultarían ser el desnivel del terreno, la velocidad de infiltración y el contenido en humedad del suelo (Montes Caurino E. J., 2019) (pp. 31-32).

FAO (2013) indica que la precipitación efectiva ( $P_e$ ) es la lluvia o precipitación útil o utilizable (Dastane, 1978) por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas o comúnmente conocido como la raíz, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla (agua disponible) (p.44).

### ***Intervalo de riego (Ir) y Tiempo de riego (Tr)***

Según Nieto Nuvia (2011) La cantidad de tiempo que transcurre entre riegos para un determinado cultivo durante una etapa fenológica específica con la finalidad de restituir el agua que el cultivo utiliza o consume se conoce como intervalo de riego (p. 18).

Se encuentra definida:

$$Ir = L_n / ET_c \quad (2.19)$$

Donde:

Ir = intervalo de riego (día)

$L_n$  = lámina de agua neta (mm)

$ET_c$  = evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Según Morí A. M. (2015) El tiempo de riego se traduce en el ritmo de utilización del sistema de riego por medio de sus emisores, medido en minutos u horas, y la cantidad de agua de riego necesaria por área para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo:

$$Tr = L_r / pph \times E_a \quad (2.20)$$

Donde:

Tr = tiempo de riego (h)

$L_r$  = lámina de riego (mm)

pph = pluviosidad o precipitación horaria (mm/h)

$E_a$  = eficiencia de aplicación

### ***Precipitación horaria (pph)***

También conocida como Pluviosidad. Se define como la relación entre el caudal entregado a cada planta (Morí A. M., 2015).

$$P_{ph} = Q_p / M_p \quad (2.21)$$

Donde:

$P_{ph}$  = pluviosidad o precipitación horaria (mm/h)

$Q_p$  = caudal por planta (l/h)

$M_p$  = marco de plantación (m<sup>2</sup>)

### **2.2.3 Riego por goteo**

El sistema de riego por goteo resulta ser muy eficiente, y se indica como el agua que se fija despaciosamente a la superficie del suelo con el uso de pequeñas boquillas y/o orificios llamados goteros (Santos Pereira L., et al., 2010) (p.229).

El riego por goteo está definido por un sistema que se conforma:

**Cabezal de riego:** Los componentes del sistema incluyen filtros, accesorios de control y herramientas para suministrar y distribuir la presión al sistema de forma adecuada. Las válvula de compuertas, válvula de aire, bomba de agua, el filtro, los manómetros y los manómetros forman parte de los cabezales.

**Fuente de presión:** Un tanque, depósito o embalse que esté al menos diez metros por encima de la superficie de la parcela. También puede sustituirse por una red de distribución de agua

bajo presión o una bomba de agua, que debe ser capaz de suministrar al sistema la presión ideal para que el equipo de riego funcione según lo previsto.

**Línea de presión:** Para transferir el agua que inicia en el cabezal de riego a las áreas destinadas para riego, el diámetro de la tubería de PVC o HDPE es determinado por la dimension de la parcela y la cuantia de agua necesaria.

**Porta regantes:** Sistemas de riego o mangueras de polietileno (HDPE) de alta densidad que permiten suministrar agua a los cultivos que la necesitan.

**Emisores:** Dependiendo de si son auto compensantes o ajustables, los goteros pueden liberar entre uno y cuatro litros por hora en el caso de los goteros auto compensantes y hasta cuarenta litros por hora en el caso de un gotero ajustable. Según los requisitos del fabricante, los goteros funcionan a presiones nominales.

El cálculo de número de goteros por planta, se deberá realizar por medio de estimados , con la finalidad de hallar una proporción de área humedecida ( $P_w$ ) que se encuentre en el rango de 33 % - 50 % (Rafael A., Bairez P., Hernandez C. & Mena O., 1989) (p. 97).

Las próximas fórmulas para el cálculo del diámetro de bulbo humedecido relacionadas al tipo de suelo (Rafael A., Bairez P., Hernandez C. & Mena O., 1989) (pp. 97- 98) Diámetro:

Bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco arenoso:

$$Dc = 26.9 V^{0.27} \quad (2.22)$$

Bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco arcilloso:

$$Dc = 26.9 V^{0.27} \quad (2.23)$$

Bulbo humedecido (Dc) para un suelo franco:

$$Dc = 26.9 V^{0.27} \quad (2.24)$$

Dc = bulbo humedecido diámetro (cm)

V = volumen de agua aplicado (l)

La porcion de área humedecida (Pw), está definida por la siguiente ecuación (Rafael A., Bairez P., Hernandez C. & Mena O. p.98., 1989.):

$$Pw = ((Np * (Dc)^2) / At) x 78.5 \quad (2.25)$$

Pw = Área humedecida (%)

Np = número de goteros

At = Área de plantación (m<sup>2</sup>)

Dc = Bulbo humedecido diámetro (m)

#### 2.2.4 *Tamaño de la muestra en investigación*

Esta debe de ser proporcional en relación al total de la población. (Gutiérrez J., 2015).

El tamaño de la muestra se define por medio de la siguiente ecuación:

$$n = (N * Z_{\alpha/2}^2 * p * q) / (e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 * p * q) \quad (2.26)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = parámetro estadístico dependiente del nivel de confianza (inversa de la distribución normal estándar del nivel de confianza)

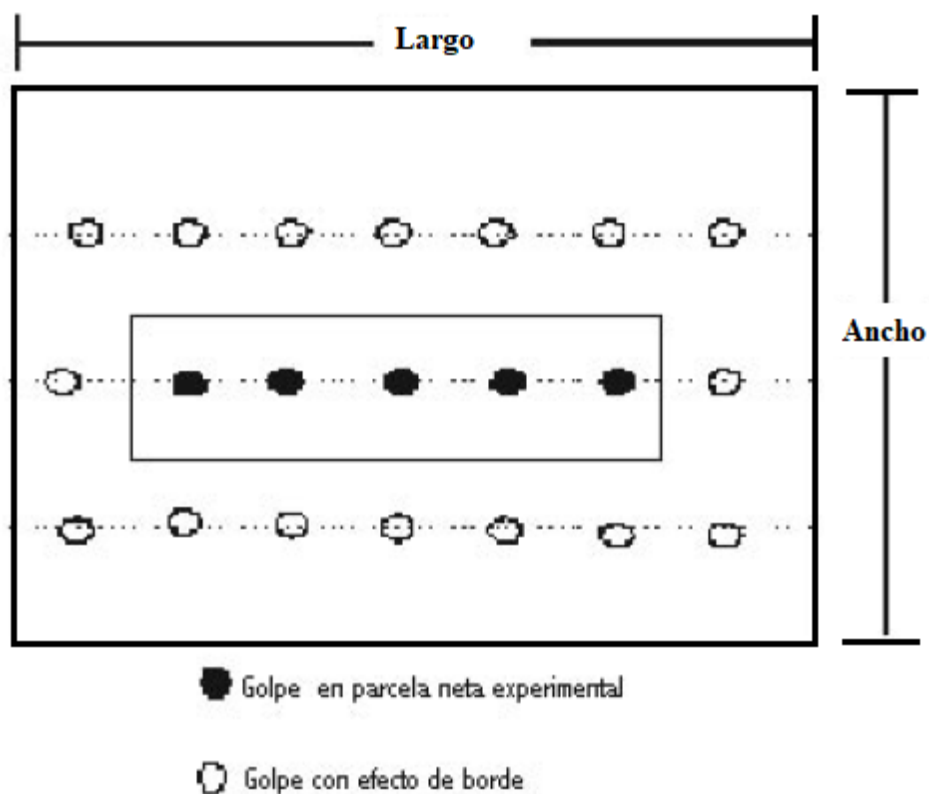
e = error de estimación máximo aceptado

p = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = (1 - p); probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

## 2.2.5 Efecto de Borde

Figura 2.7



Efecto de borde, Diseño de bloques al azar (Gutiérrez J., 2015)

Gutiérrez J. (2015) indica que en los experimentos agrícolas existen muchas diferencias en la producción y el crecimiento de los cultivos que están situadas en los perímetros de la parcela comparados con los cultivos situados en la parte central, esta variación se llama efecto de borde y causa la sobre estimación o subestimación de las respuestas de los tratamientos, llegando con esto a comparaciones ladeadas entre ellos. Seguimos evaluando los cultivos centrales con fines experimentales, ignorando los bordes, en un esfuerzo por evitar o atenuar este problema.



### 2.2.6 *Definición de términos*

**Dosel** Cubierta aérea con que un cultivo cubre y/o resguarda el suelo (Rafael A., Bairez P., Hernandez C.& Mena O., 1989).

**Estrés hídrico** Estado deficitario que anula o disminuye en las células foliares de la planta su presión de turgencia, manifestándose el marchitamiento (Morí A. M., 2015).

**Frecuencia** Se define como la frecuencia con que se aplica agua a un cultivo en particular en una etapa determinada de crecimiento; se expresa en días (FAO, 2013).

**Remanente** Parte que queda de algo, puede asociarse este concepto a la idea de excedente (Real Academia Española, 2021).

**Pedúnculo** Tallo de una hoja, fruto o flor por el cual se une al tallo de la planta (Kadir J., Liliana V., Luisa M., 2021).

### III. METODOLOGIA Y MATERIALES

#### 3.1 Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 *Ubicación de la parcela Experimental*

El trabajo de investigación fue realizado en la comunidad campesina "Tahuantinsuyo", de 1,600 hectáreas, que forma parte de la provincia de Carhuaz, región Ancash, distrito de Tinco, sector Malpaso.

##### *Ubicación política.*

Departamento: Ancash

Provincia: Carhuaz

Distrito: Tinco

Sector: Malpaso

##### *Ubicación geográfica (UTM).*

Zona: 18

Norte: 8972923.80

Este: 209254.70

Altitud: 2586 Metros Sobre el Nivel del Mar

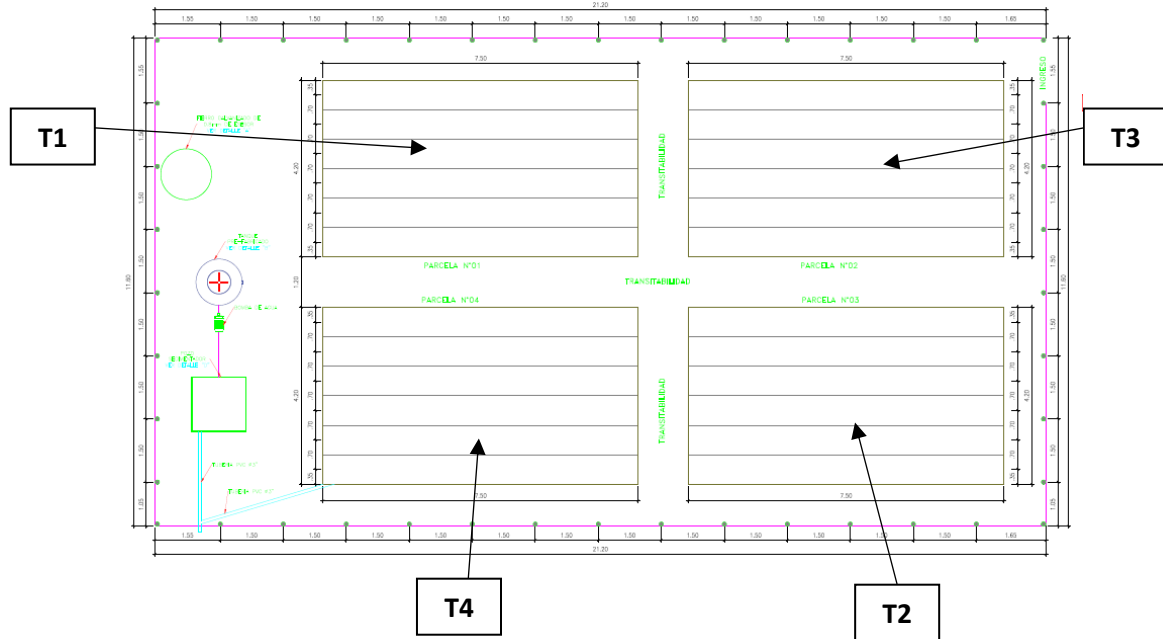
##### 3.1.2 *Diseño Experimental*

La finalidad de la investigación fue determinar las necesidades hídricas diarias del cultivo evaluando tres tratamientos diferentes de láminas de riego: T1(100%), T2 (120%) y T3(80%). Los tratamientos se distribuyeron al azar, lo que dio lugar a un esquema de la

distribución del cultivo. El tratamiento 4(riego por gravedad), como se utiliza habitualmente en la zona. El esquema al azar resultante fue:

**Figura 3.1**

*Croquis de identificación y ubicación de las parcelas*



Se incluyeron en la investigación cuatro repeticiones experimentales de cada una de los tres tratamientos propuestos y el tratamiento de control o testigo, que se realizó aplicando un diseño completamente al azar (DCA). resultando un total de 16 surcos o unidades en el estudio.

### 3.1.3 Variables de Estudio

**Variable independiente:** Las láminas de agua de riego por goteo

**Variable dependiente:** El rendimiento productivo del cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*).

### 3.1.4 Descripción de los tratamientos

**Tratamiento (T1):** Utilizando datos diarios en el tanque tipo A, el riego por goteo se aplicó al 100% de la lámina bruta de riego basada en las necesidades de evapotranspiración del cultivo. El tratamiento uno réplica 1 (T1R1), el tratamiento uno réplica 2 (T1R2), el tratamiento uno réplica 3 (T1R3), y el tratamiento uno réplica 4 (T1R4) son las unidades de experimentación. La dosis de aplicación y el tiempo de riego para las parcelas de brócoli del tratamiento uno fueron los mismos.

**Tratamiento (T2):** A partir de las lecturas diarias en el tanque tipo A, el riego por goteo se aplicó lamina bruta de 120% de la tasa bruta de riego, teniendo en cuenta las necesidades de evapotranspiración del cultivo. El tratamiento dos réplicas 1 (T2R1), el tratamiento dos réplica 2 (T2R2), el tratamiento dos réplica 3 (T2R3) y el tratamiento dos réplica 4 (T2R4) son las unidades de experimentación. La dosis de aplicación y el tiempo de riego para las parcelas de brócoli del tratamiento dos fueron los mismos.

**Tratamiento (T3):** A partir de las lecturas diarias en el tanque tipo A, el riego por goteo se aplicó al 80% de la lámina bruta de riego de acuerdo con los requerimientos de evapotranspiración del cultivo. El tratamiento tres repeticiones 1 (T3R1), el tratamiento tres repeticiones 2 (T3R2), el tratamiento tres repeticiones 3 (T3R3) y el tratamiento tres repeticiones 4 (T3R4) son las unidades experimentales denominadas. La dosis de aplicación y el tiempo de riego para las parcelas de brócoli en el tratamiento tres fueron los mismos.

**Tratamiento (T4):** se aplicó riego tradicional o por gravedad.

## 3.2 Materiales, equipos y herramientas

### 3.2.1 *Materiales de campo*

- 02 codo 90° de pvc de 2".
- 03 unión pvc de 2".
- 03 filtros de anillas (120 Mesh / 130 Micrón Disc.).
- 1/2 de galón de pagamento PVC.
- 02 reducción roscada de PVC de 1/2" a ø 16 mm.
- 01 manómetro de 10 bar certificado.
- 02 llave de paso de PVC de 1/2".
- 600 m de manguera HDPE de 16 mm.
- 1000 goteros auto compensados de caudal 4 l/h.
- 150 tee de HDPE de ø 16 mm.
- 01 tanque evaporímetro clase A.
- 12 listones de madera de 2 pulgadas por 2 pulgadas por 2.5 metros.
- 01 probeta de 500 ml.
- 06 m de manguera HDPE de 1".

### 3.2.2 *Materiales de escritorio*

- 01 cuaderno cuadriculado A4.
- 04 lapiceros.

- 04 lápices HB.
- 02 borrador.
- 02 tajador.
- 02 millar de papel bond 75gr.
- 01 unidad USB 32 gb.

### **3.2.3 Herramientas**

- 01 barreta.
- 01 lampa tipo cuchara con mango de madera.
- 01 pico pala.
- 01 wincha nylon de 100 m.
- 01 alicate con pinza.
- 01 hoja sierra para metal.
- 05 baldes de 18 litros con tapa.

### 3.2.4 Equipos

- 01 laptop.
- 01 calculadora científica.
- 01 mochilas de fumigación de 20 litros.
- 01 balanza digital
- 01 celular con cámara o cámara fotograafica.

### 3.2.5 Insumos

- 120 kg de abono nitrogenado (Urea).
- 32 kg de abono sintético P(SFT)
- 20 kg de K ( $K_2O$ ).
- 500g de homay.
- 1 litro de Decis evo
- 1 litro de pegamento agrícola.

### **3.3 Metodología**

#### **3.3.1 Tipo de investigación**

La investigación es experimental

Ñaupas H. M. (2013) afirma que este tipo de estudio pretende maximizar la eficiencia de los sistemas, normas, tecnología, procesos y regulaciones tecnológicas actualizadas de acuerdo con los avances científicos. En consecuencia, este tipo de investigación se presta más a la clasificación de eficaz o ineficaz, eficiente, deficiente o ineficiente que a la clasificación de verdadero, falso o probable. (pp. 69-70).

#### **3.3.2 Análisis de suelo**

Con la finalidad de conocer las características físico-químicas del suelo, se tomó muestras de suelo a una profundidad de 45 cm del centro del campo donde se instaló el experimento. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), y los resultados se muestran en el Anexo 3 de este estudio.

#### **3.3.3 Análisis del agua de riego**

El tanque del sistema de riego por goteo, situado en la parte delantera de las parcelas experimentales, es donde se obtuvo la muestra de agua. El laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) recibió una muestra de medio litro (500 ml) que se tomó en un envase hermético para el análisis del agua el cual demostró que es apta para el riego agrícola, de acuerdo a la tabla de estándares de calidad (ECA) (véase el anexo 3).



### **3.3.4 Dimensión de muestra del cultivo de brócoli**

Se tomo en cuenta cuatro (4) surcos centrales por cada parcela o tratamiento dejando un (1) surco por lado como efecto de borde, cada surco está compuesta por 14 plantas o inflorescencias de brócoli, sumando un total de 56 plantas por tratamiento de una población total de 384 plantas instaladas en el área de investigación.

### **3.3.5 Manejo agronómico del cultivo del brócoli**

#### **a. Preparación del terreno**

Antes del trasplante, limpiamos y preparamos el terreno arándola con una yunta para eliminar los terrones. Luego nivelamos el campo y lo surcamos, espaciando los surcos 0,75 metros (de eje a eje). El terreno se saturó 24 horas antes.

#### **b. Almacigo**

Se emplearon plántulas de brócoli de 57 días de edad; se compraron en bandejas de 11x22 agujeros con tres hojas verdaderas (fase de crecimiento 1, estadio 13), listas para el trasplante.

#### **c. Trasplante**

El distanciamiento entre surco fue 0.75 m entre eje, un día antes se saturo el terreno con la finalidad de conservar el terreno a capacidad de campo para el trasplante al día posterior, Las plantas se espaciaron 0,5 m y 7 cm de profundidad. Las plántulas deberían estar listas cuando tuvieran de tres a cuatro hojas verdaderas o 10 a 12 cm de altura.

#### **d. Riego**

El riego inicial o primero se realizó tres días previos al trasplante con la finalidad de lograr el suelo a capacidad de campo, posteriormente los riegos han sido aplicados diariamente de acuerdo con los cálculos realizados. Los riegos posteriores se aplicaron láminas de riego al 100%(T1), 120% (T2), 80%(T3) con respecto a la necesidad hídrica del cultivo, estas fueron aplicadas de acuerdo con los resultados de la evapotranspiración del brócoli, obtenido haciendo uso de la evapotranspiración del tanque tipo A, la programación de riego fue diaria (ver anexo 11).

El riego en el tratamiento 4 fue por gravedad cada 3 días como usualmente se realiza en la zona.

#### **e. Desmalezado**

El deshierbe y/o desmalezado se realizaba de forma mecánica. Las malezas fueron en terradas en el momento del aporcado.

#### **f. Fertilización**

Se realizó dos fertilizaciones, una fertilización, aplicando urea, Superfosfato triple y cloruro de potasio, la segunda fertilización consistió solo el uso de urea como fuente de nitrógeno, esto debido a la baja concentración de nitrógeno, los agricultores en la zona utilizan este fertilizante como fuente de nitrógeno. De puede apreciar en la tabla 3.1

**Tabla 3.1**

*Dosis de fertilización del brócoli por planta*

Descripción	Fase	Fecha	N (UREA) gr	P(SFT) gr	K(K <sub>2</sub> O) Gr
1° Fertilización	2 hoja verdaderas	21/09/2022	15	8	5
2° Fertilización	Inicio de floración	26/10/2022	15	0	0

**Fuente:** Propia

**g. Control fitosanitario**

Al trasplante del brócoli se desinfecto con un fungicida llamado homay disuelto 30 gr en 20 litros de agua

Cada tres días se controló el cultivo en busca de plagas y enfermedades que pudieran afectar a su desarrollo. Entre las plagas, la *Plutella xylostella* se controló con plaguicidas de contacto, mientras que se observó que el pulgón (*Brevicorine brassicae*) dañaba las hojas más viejas. Se aplicó una concentración de 30 ml por 20 litros con 20 ml de adhesivo agrícola a los productos Decis evo cada 15 días; en los bordes del cultivo se utilizó ceniza y cal agrícola para evitar las babosas.

**h. Cosecha**

La toma de datos final se realizó el 29 de noviembre de 2022, 79 días después del trasplante, con una única cosecha de brócoli. Cuando las cabezas alcanzaron la madurez, ésta se realizó a mano con un cuchillo. El tajo fue realizado 5 cm en la parte superior del cuello de la planta. Evitando así la pérdida de peso por deshidratación y de calidad, las

pellas o cabezas se recogieron y se llevaron inmediatamente a un ambiente destinado para su evaluación y toma de datos.

### **3.3.6 Infiltración de agua en el suelo**

Se utilizó el método del anillo infiltrómetro, cuyo valor se realizaron los cálculos correspondientes de acuerdo con la bibliografía y formulas correspondientes.

El cilindro de infiltración se introdujo en el suelo a 10 cm del nivel del terreno de manera vertical, posteriormente se llenó de agua y el descenso del agua en el cilindro se midió periódicamente con una regla y se anotó en el cuaderno de campo, hasta que esta sea constante.

### **3.3.7 Coeficiente de uniformidad de los goteros**

Se colocaron dos goteros autocompensantes en la muestra de 224 plantas de brócoli utilizadas en la investigación, lo que dio como resultado una población total de 448 goteros.

Para calcular el coeficiente de uniformidad de los goteros del proyecto de tesis se utilizaron 207 unidades de goteros seleccionadas al azar de los distintos tratamientos o parcelas.

La ecuación 2.26, que trata de la dimensión de la muestra, con un parámetro estadístico de intervalo de confianza del 95% indican que la tasa de éxito es del 90%, mientras que la probabilidad de fracaso es del 10%. De esta manera se ajusta a un error del 8,33% en el Coeficiente de uniformidad del gotero.

Tras la obtención de datos de los goteros, los datos se evaluaron y procesaron utilizando la ecuación del cuarto menor (forma 2.18), que tiene por objeto evaluar el coeficiente de homogeneidad en sistemas ya instalados utilizando datos obtenidos en campo.

### 3.3.8 *Acondicionamiento y montaje del riego por goteo*

Se estableció el nuevo sistema de riego por goteo ya que no se contaba con uno, teniendo en cuenta los requisitos del campo y las parcelas experimentales destinadas a la evaluación.

Este procedimiento se realizó de la siguiente manera:

Con la finalidad de que la gravedad pueda ser utilizada para controlar el flujo de agua en el sistema, el depósito de agua para el cabezal de riego se colocó a 2,30 metros por encima del campo de cultivo, elevado por un soporte de madera.

La matriz principal se instaló en las parcelas usando la tubería HDPE de 1" pulgada , por encima de cada parcela de cultivo con la finalidad de tener mayor movilidad para la siguiente campaña de cultivo de corto plazo.

Los goteros autocompensantes se instalan en cada surco, y se utiliza manguera de HDPE de 16 mm como laterales o ramales.

En todas las parcelas hay una llave denominada de paso cuya función es regular el caudal en cada una de las parcelas.

Se usaron e instalaron dos goteros auto compensados en cada una de las plantas de brócoli con una descarga de 4 l/h nominal de acuerdo a la ficha técnica, la instalación se dio en forma directa muy cerca a planta.

### **3.3.9 Registro de la evaporación**

En el borde de la zona de investigación se colocó el tanque evaporímetro de tipo A. La posición del tanque evaporímetro de tipo A es significativa por ello la ubicación y localización.

Con este equipo se realizaron dos mediciones diarias, a las seis de la mañana y a las seis de la tarde, para registrar la evaporación diaria. En el tanque tipo A se realizaron mediciones visuales utilizando una regla graduada que se colocó en el borde del tanque. Esta regla permitía medir en milímetros la evaporación que se producía en el tanque. En el anexo 12 se muestran los registros de evaporación.

### **3.3.10 Registro de precipitación**

Utilizamos un pluviómetro con un diámetro en la boca de 19 cm y 17,50 cm de profundidad. La interpretación de los datos del pluviómetro para las precipitaciones en la zona de investigación se ajustó, lo que significa que 43 milímetros de medición representan un litro de precipitación por metro cuadrado de terreno. Utilizando una regla milimétrica, se tomaron las medidas del pluviómetro y se anotaron en un cuadernillo destinado a campo con un intervalo diario o su equivalente a 24 horas, con mediciones a las 6 de la mañana.

### **3.3.11 Programación del riego**

El sistema de riego se diseñó para aplicar agua de riego al 80, 100 y 120% del requerimiento de agua del cultivo. La evapotranspiración del cultivo (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo) se estimaron usando el tanque evaporímetro tipo A, el Kc se tomó en cuenta la fuente de la FAO definidas en las distintas fases y etapas del cultivo. Antes del inicio del estudio, el riego se ponderó durante 12 horas hasta que el suelo se saturó, asegurando que el suelo alcanzaba la capacidad de campo y que todas las plantas se desarrollaban por igual. La toma de datos de forma diaria y el caso acumulativo de evaporación

en el tanque tipo A se utilizaron para definir la dosis o cuantía de agua aplicada a cada planta de brócoli, así como el periodo y tiempo de riego.

### **3.3.12 Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli**

Según esta investigación, la lámina de agua se repone: 80, 100 y 120% de la ETc. Se considero la lectura de evaporación acumulada en el tanque tipo A desde el último riego en cada una de las frecuencias de riego propuestas.

Comenzamos calculando la necesidad total (fórmula 2.14), añadiendo los parámetros de corrección adecuados para este cálculo y utilizando la lectura de evaporación acumulada en el tanque tipo A para cada tratamiento de riego. El resultado fue la dosis de riego en litros por planta de brócoli. El tiempo de riego en el tratamiento correspondiente al día en que se realizaron los cálculos es el resultado de la fórmula 2.14 (tiempo de riego), que incluía este valor de dosis de riego.

## **3.4 Plan de procesamiento y análisis de la información**

En el momento de la cosecha, se evaluó el rendimiento de la cosecha de brócoli. El peso de la cabeza o pella de brócoli se midió con una balanza digital, y las mediciones incluyeron el diámetro de la cabeza en centímetros, la altura de la planta en centímetros, el peso de las hojas expresado en kilogramos por planta, el número de hojas por planta, y la altura y el diámetro de cada planta individual.

### **3.4.1 Rendimiento del cultivo de brócoli**

En la Comunidad campesina Tahuantinsuyo el cultivo de brócoli es mínimo, por tal motivo no existe un registro documentado del rendimiento de dicho cultivo, en términos de rendimiento en kg , es de 3- Tn/ha de acuerdo a testimonios de los agricultores.

### 3.4.2 Análisis estadístico

Se empleó el análisis de varianza (ANVA) con un intervalo de confianza del 95%. El valor de  $F_c$  ( $F$  calculado) se obtuvo a partir del análisis ANVA, se comparó con el valor de  $F_t$  ( $F$  calculado a partir de tablas), que se utilizó para contrastar la hipótesis del estudio.

**Tabla 3.2**

*Análisis de Varianza DCA*

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	$F_0$	Valor- <i>p</i>
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Expresiones para el cálculo del análisis ANOVA al 95% de intervalo de confianza. Diseño completamente al azar (Gutiérrez J. (p. 16)., 2015)

Para determinar si existen diferencias entre las medias de los distintos tratamientos, se realizó una prueba de comparaciones múltiples para el rendimiento del brócoli utilizando estadísticamente la prueba de Tukey con un intervalo de confianza del 95% (significancia del 5%).



## IV. RESULTADOS

### 4.1 Tipo de investigación

Esta tesis está definida como experimental; Se debe de tener en cuenta que se manipula las variables independientes que en este caso son las tres láminas de agua de riego y con esto se busca optimizar el rendimiento del cultivo de brócoli

### 4.2 Análisis de suelo

Esta muestra se tomó a los 45 centímetros de profundidad, tiene textura franco-arcillosa, reacción alcalina, bajo porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total, medianamente contenido de fósforo y mínimo contenido de potasio. Su pH de 8,15 está por encima del rango ideal para el cultivo de brócoli, y la cantidad de materia orgánica es de 1.206 % y su cuantía respecto a la conductividad eléctrica de 0,440 dS/m muestran que está libre de salinidad.

En el anexo 3 figuran los resultados específicos.

### 4.3 Análisis de agua de riego

Con un pH de 7,20, que indica una respuesta neutra, y una conductividad eléctrica de 0,18 dS/m, que muestra un mínimo riesgo de presencia de salinidad, la muestra de agua tomada del depósito contenedor de agua cumple los estándares de calidad en la tabla de estándares de calidad de agua, se encuentra en C1 y S1, lo que la hace adecuada para su uso en el riego agrícola.

El anexo 3 muestra los resultados en detalle.

#### 4.4 Tamaño de muestra del cultivo de brócoli

Había 52 plantas de brócoli en cada uno de los cuatro tratamientos, tres tratamientos sugeridos y adicionalmente un testigo, sumando en total cuatro tratamientos. Con lo cual realizaron cuatro repeticiones de cada tratamiento, utilizando catorce plantas de brócoli en cada repetición. Se tomaron muestras de 224 plantas de brécol para examinar la población en su conjunto.

#### 4.5 Fenología del cultivo de brócoli

En tabla posterior se presenta la permanencia en cada fase establecida a partir de las observaciones y registros realizados durante la campaña. La caracterización fenológica del cultivo de brócoli se realizó mediante registros visuales.

##### **Tabla: 4.1**

Duración de los estados fenológicos del brócoli (*Brassica oleracea var italica*)

Código	Descripción
Estadio	Principal de crecimiento 1. Desarrollo de hojas (tallo principal)
1...	Estado continuo hasta...
19	formación de la novena a más hojas verdaderas
Estadio	Principal de crecimiento 2. Formación de brotes laterales
21	primer brote lateral visible.
22	Segundo brote lateral visible
23	tercer brote lateral visible.
2...	Estado continuo hasta...
29	noveno a más brotes laterales visibles

Independientemente de que se utilicen variedades precoces, tardías o tempranas, el material genético influirá en todas las fases de desarrollo.

#### 4.6 Infiltración de agua en el suelo

La ecuación de la velocidad de infiltración se obtiene a partir de los datos de campo recogidos durante la prueba de infiltración utilizando el método del cilindro de infiltración.

$$I=19.59t^{0.7295} \text{ (cm/h)}$$

Donde:

I = infiltración acumulada expresado en cm por hora (cm/h)

t = tiempo expresado en minutos(min)

De la cual la infiltración básica resulta:

$$I_b=21.643\text{cm/h}$$

#### 4.7 Coeficiente de uniformidad de los goteros

Se comprobó el coeficiente de uniformidad de 207 de los 448 goteros auto-compensados empleados. Utilizando la ecuación del cuarto menor, se realizó una evaluación y se obtuvo un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) satisfactorio del 97,59%. (ver anexo 10)

#### 4.8 Acondicionamiento e instalación del riego por goteo

Las parcelas experimentales estaban equipadas con líneas directas dotadas de válvulas de control. Cada planta tiene dos goteros auto-compensados con una capacidad de descarga de 4 l/h que se instalaron directamente (los goteros están en las plantas).

#### 4.9 Registro de la evaporación

En el cuaderno de campo, la evaporación se anotó utilizando mediciones directas del tanque evaporímetro de tipo A, los apuntes y toma de datos se registró en el anexo 12.

La evapotranspiración media diaria de referencia ( $E_{To}$ ), que se midió y registró en el tanque tipo A, se muestra en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2**

*Valores promedios del  $E_{To}$  a partir del tanque tipo A*

Mes	Ev(mm/día)	PP(mm/día)	kp	$E_{To}$ (mm/día)
Setiembre	0.34	0.10	0.7	0.24
Octubre	0.26	0.01	0.7	0.18
Noviembre	0.24	0.00	0.7	0.17

**Nota:** Estimaciones del coeficiente Kp del tanque evaporímetro tipo A según su localización, la humedad relativa y la velocidad de viento presente en la zona, *Evapotranspiración del cultivo* (p. 81) (FAO, 2006)

#### 4.10 Registro de precipitación

El registro de la precipitación en la comunidad campesina Tahuantinsuyo se creó a partir de los datos de un pluviómetro. El anexo 12 muestra los registros de precipitaciones diarias., Las precipitaciones totales mensuales a lo largo del periodo de estudio se muestran en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3**

*Precipitación acumulada mensual en mm*

Año 2022			
Setiembre	Octubre	Noviembre	Total
1.83	0.3	0.00	<b>2.13</b>

#### 4.11 Programación del riego

El riego programado en cada parcela fue diaria a manera de reposición de la lámina de riego, por periodos de 20-45 min en los T1, T2 y T3. (Ver anexo 13)

En el T4 el riego se realizó por gravedad cada 3 días de acuerdo con las costumbres de los agricultores de la zona.

#### 4.12 Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli

Según la investigación, la lámina de agua se repone al 80%, 100% y 120%. (propuesta en la investigación). Utilizando el tanque evaporímetro tipo A, se calculó la evapotranspiración

de referencia (ET<sub>o</sub>). Se calcularon las necesidades hídricas de los cultivos, la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>) por día y el K<sub>c</sub> (fuente FAO) para cada fase de cultivo.

Además de un testigo T4, que es riego por gravedad con una frecuencia de riego cada tres días (riego habitual en la zona), se programó el riego propuesto con intervalos de aplicación diarios en diferentes riegos por goteo (T1-100%; T2-120%; T3-80%) que responden a los tratamientos propuestos.

A partir de la lectura diaria y de la lectura de evaporación acumulada en el tanque tipo A, se determinó la dosis o cantidad de agua aplicada a cada tratamiento de brócoli, así como el programa de riego. (ver anexo 13)

### Cálculos día 1

Día del mes: 12/09/2022

Registro de la evap. Tanque tipo A: 0.12 mm

Coficiente de Tanque (K<sub>p</sub>): 0.70

Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) ecuación 2.6:  $0.70 \times 0.12 = 0.084$  mm

Coficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) fuente FAO: 0.95

Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) ecuación 2.7:  $0.95 \times 0.084 = 0.080$  mm

Coficiente por localización (K<sub>l</sub>): 0.36

**Tabla 4.4**

coef x localización			
pi	d	Sp	a
3.1416	0.3	0.375	0.02650725
Aljiburri	0.03551972		

Decroix	0.12650725
Hoare et al	1.08650725
Séller	0.17253116
media	0.35526634

Coeficiente por Variación climática (Kr) pág. 38: 1.2

Variación por advección (Ka) figura 2.6: 1.01

Evapotranspiración del cultivo (ETc) Corregido:  $0.080 \times 0.36 \times 1.2 \times 1.01 = 0.03$

Precipitación efectiva (mm): 0 mm

Lamina Neta o Necesidades netas ecuación 2.8: 0.03 mm

Lamina Bruta o Necesidades Totales Ecuación 2.14: 3.73 mm

Intervalo de riego (Ir) Ecuación 2.19: 1 día

Tiempo de riego (Tr) Ecuación 2.20: 0.31 h.

### Programación de lámina de riego para el día 1:

**Tabla 4.5**

T3			T1			T2		
80%			100%			120%		
mm	m3/Ha	Tr(h)	mm	m3/Ha	Tr(h)	mm	m3/Ha	Tr(h)
2.98	29.81	0.25	3.73	37.26	0.31	4.47	44.71	0.38

### Leyenda:

Kp: Coeficiente de Tanque

ETo: Evapotranspiración de referencia

Kc: Coeficiente de cultivo

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Kl: Coeficiente por localización

Kr: Coeficiente por Variación climática

Ka: Variación por advección

Ln: Lamina neta

Lb: Lamina Bruta

Ir: Intervalo de riego

Tr: Tiempo de riego



### 4.13 Rendimiento del cultivo de brócoli

#### 4.13.1 Rendimiento del brócoli cabezas (kg/planta)

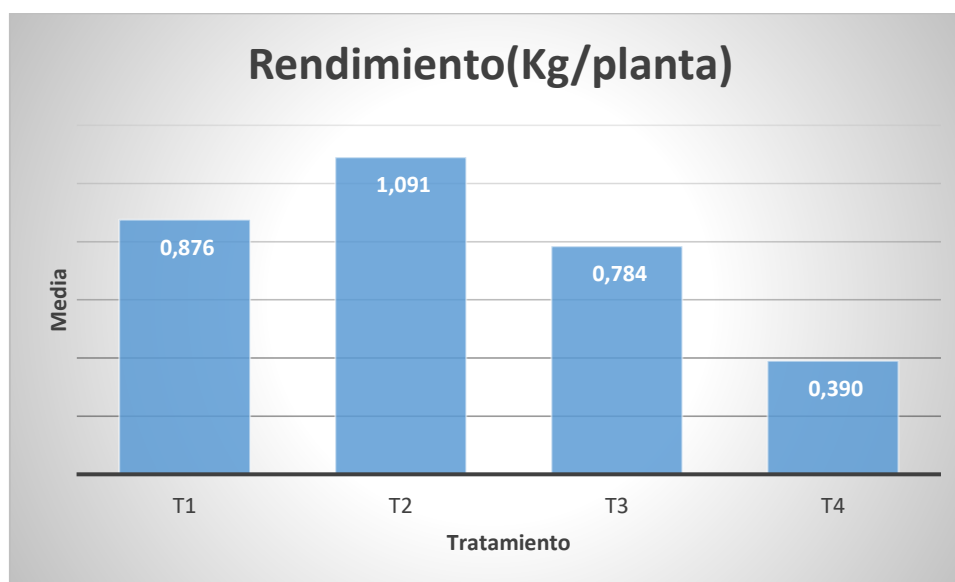
El Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*) en la comunidad campesina Tahuantinsuyo es de periodo corto. El rendimiento del cultivo se aprecia en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.6**

*Rendimiento del cultivo de Brócoli peso de pella*

Rendimiento del cultivo de brócoli (Kg/Planta)					
Tratamiento	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Media
T1 (100%)	0.9614	0.8050	0.9600	0.7757	<b>0.88</b>
T2 (120%)	1.1758	1.0029	1.1939	0.9897	<b>1.09</b>
T3 (80%)	1.1758	1.0029	1.1939	0.9897	<b>0.78</b>
T4 (Grave.)	0.4336	0.3457	0.4336	0.3457	<b>0.39</b>

Figura 4.1 Rendimiento peso de pella kg/planta



En comparación con T4, que es el riego tradicional o por gravedad en la zona donde se llevó a cabo el proyecto, el rendimiento del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*) mejora

con el riego por goteo en los tratamientos T1, T2 y T3. Esto se traduce en un aumento del rendimiento del 125%, 180% y 101% para los tratamientos T1, T2 y T3 en relación con el Testigo T4.

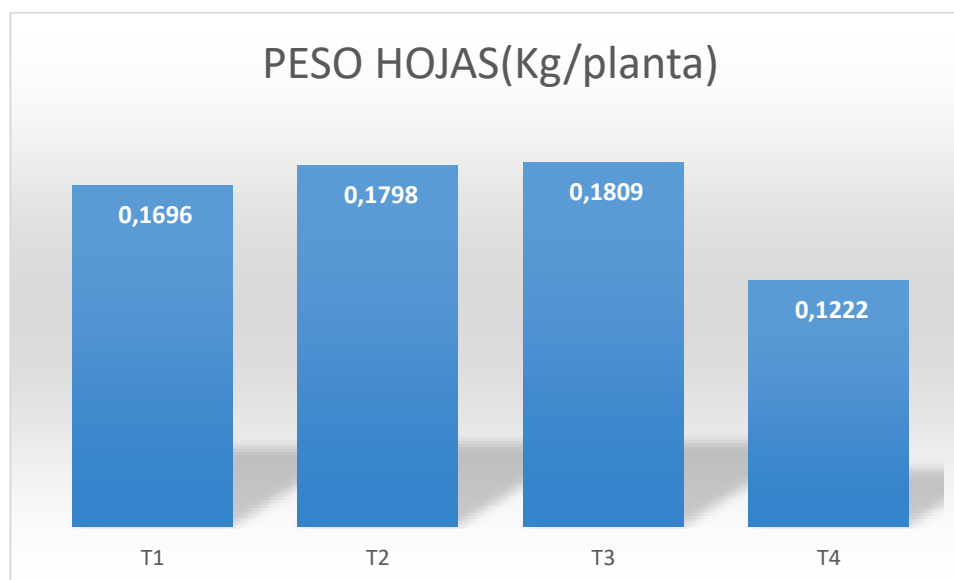
#### 4.13.2 Rendimiento del brócoli peso de hojas (kg/planta)

**Tabla 4.7**

*Rendimiento del cultivo de Brócoli (peso de hoja)*

Rendimiento del cultivo de brócoli peso de hojas (Kg/Planta)					
Tratamiento	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Media
T1 (100%)	0.1714	0.1614	0.1821	0.1636	<b>0.1696</b>
T2 (80%)	0.1754	0.1625	0.1943	0.1871	<b>0.1798</b>
T3 (60%)	0.1825	0.1854	0.1757	0.1800	<b>0.1809</b>
T4 (Grave.)	0.1436	0.1132	0.1100	0.1221	<b>0.1222</b>

Figura 4.2 Rendimiento Peso de hojas Kg/planta



En comparación con T4, que es el riego tradicional o por gravedad utilizado en la zona del proyecto, el rendimiento en peso de las hojas de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*) aumenta con el riego por goteo en los tratamientos T1, T2 y T3. Esto se traduce en

un aumento del rendimiento del 38,75%, 47,10% y 23,56% para los tratamientos T1, T2 y T3 en relación con el control T4.

No hay diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 y T3, lo que lleva a la conclusión de que los tratamientos no tienen ningún efecto sobre el rendimiento en peso de las hojas de brócoli.

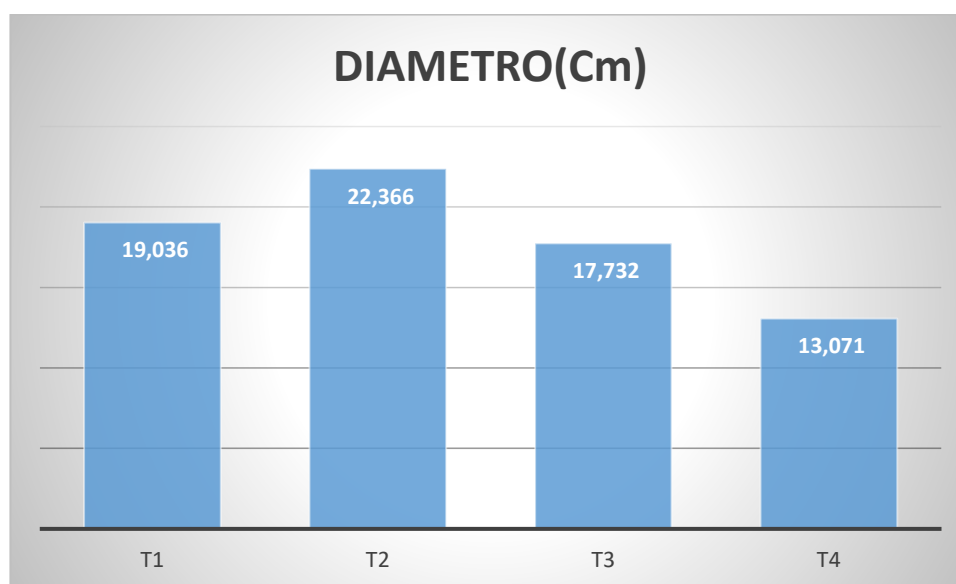
#### 4.13.3 Rendimiento del brócoli diámetro de cabeza (cm/planta)

**Tabla 4.8**

*Rendimiento del cultivo de Brócoli (diámetro de cabeza)*

Rendimiento del cultivo de brócoli diámetro (cm/Planta)					
Tratamiento	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Media
T1 (100%)	19.0714	18.9286	19.0714	19.0714	<b>19.036</b>
T2 (80%)	22.0714	23.0357	22.3571	22.000	<b>22.366</b>
T3 (60%)	18.2857	17.7857	17.7143	17.1429	<b>17.732</b>
T4 (Grave.)	13.0000	13.6429	12.4286	13.2143	<b>13.071</b>

Figura 4.3 Diámetro de cabeza o pella cm/ planta



En comparación con T4, el riego tradicional o por gravedad utilizado en la zona del proyecto, el rendimiento del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*) expresado en diámetro de inflorescencia mejora con el riego por goteo en los tratamientos T1, T2 y T3. Esto se traduce en un aumento del rendimiento del 45,63%, 71,1% y 35,655% para los tratamientos T1, T2 y T3 en relación con el control T4.

El tratamiento 2 (T2-120%) fue el más eficaz.

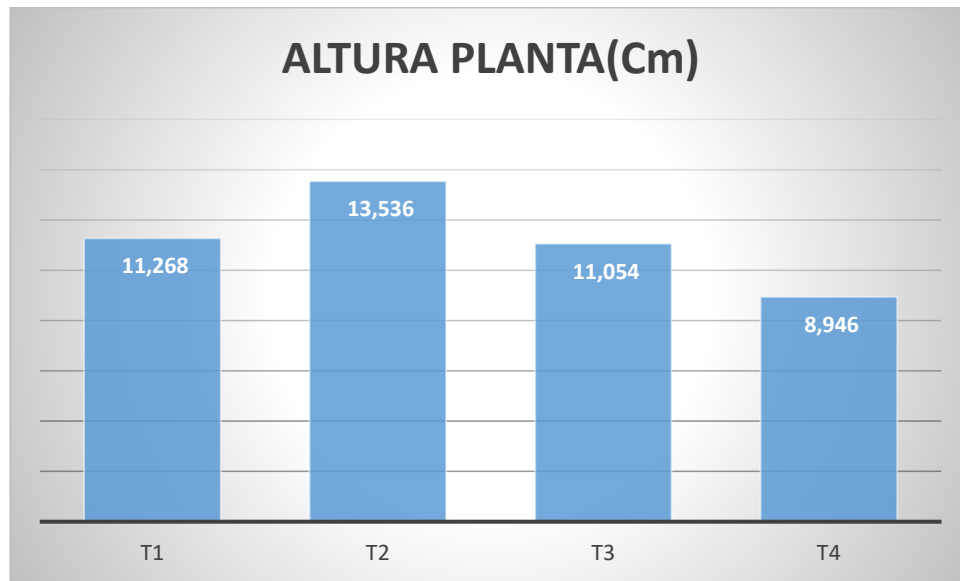
#### 4.13.4 Rendimiento del brócoli altura de planta (cm/planta)

**Tabla 4.9**

*Rendimiento del cultivo de Brócoli (altura de planta)*

Tratamiento	Rendimiento del cultivo de brócoli altura de planta (cm/Planta)				
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Media
T1 (100%)	12.0000	11.2143	11.0000	10.8571	<b>11.268</b>
T2 (80%)	13.5000	13.2857	13.6429	13.7143	<b>13.536</b>
T3 (60%)	11.0714	11.0714	11.0714	11.0000	<b>11.054</b>
T4 (Grave.)	8.6429	9.0000	9.0000	9.1429	<b>8.946</b>

Figura 4.4 Altura de planta cm/planta



El rendimiento del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*), medido en altura de planta, aumentó con el riego por goteo en los tratamientos T1, T2 y T3. Esto se comparó con T4, el riego tradicional o por gravedad en la zona del proyecto, y el rendimiento aumentó en un 25,95%, 51,30% y 23,56% para los tratamientos T1, T2 y T3 en comparación con el testigo T4.

Los tratamientos 1 y 3 (T1-100%; T3-80%) fueron significativamente equivalentes, sin embargo, el tratamiento 2 (T2-120%) fue significativamente mejor.

#### 4.14 Análisis del rendimiento del cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea Var. Itálica*)

##### 4.14.1 Análisis del rendimiento en términos de peso de pella o cabezas(kg/ha)

La tabla 4.8 muestra los resultados del análisis de varianza, al 95% de intervalo de confianza.

**Tabla 4.10**

*ANVA peso de pella o cabeza (kg/planta)*

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	F tabla (95% intervalo de confianza)
Tratamiento	3	1.0315	0.3438	46.9236514	3.49
Repeticiones	12	0.0879	0.0073		
Total	15	1.1194			

C.V.: 10.90482783 Ft=3.49

El C.V. es menor al 30%, significa que el experimento se manejó de excelente forma y los datos obtenidos son confiables.

La hipótesis alterna en la investigación es aceptada ya que la F calculada es mayor que la F de la tabla, indicando que existe significancia en los tratamientos en términos de rendimiento de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*) en kg por planta.

**Tabla 4.11**

Análisis Tukey de peso de pella o cabezas(kg/ha)

	T4	T3	T1	T2	
T2	0.70	0.31	0.22	0	A
T1	0.49	0.09	0		B
T3	0.39	0			B
T4	0				C

Se entiende que las medias que no comparten letras son significativamente diferentes.

La tabla 4.9 muestra que se creó una tabla de rangos múltiples con un intervalo de confianza del 95% y una significación del 5% para el análisis de Tukey.

El cuadro 4.9 muestra la comparación estadística mediante Tukey con un nivel de confianza del 95% para las intervenciones sugeridas sobre la producción del cultivo de brócoli.

La investigación revela una mayor aceptación de la hipótesis alternativa de que las frecuencias de riego tienen un impacto importante en la producción de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*). Esto se debe a que existe una diferencia sustancial entre los tratamientos que inciden en el rendimiento del cultivo de brócoli.

#### 4.14.2 Análisis del rendimiento en términos de peso de hojas (kg/planta)

La tabla 4.10 muestra los resultados del análisis de varianza (ANVA), al 95% de intervalo de confianza.

**Tabla 4.12**

*ANVA Rendimiento del cultivo de brócoli (peso de hoja)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	F tabla (95% intervalo de confianza)
Tratamiento	3	0.0092	0.0031	23.3396652	3.49
Repeticiones	12	0.0016	0.0001		
Total	15	0.0108			

C.V.: 7.039963564 Ft=3.49

El C.V. es inferior al 30%, lo que indica que el experimento se llevó a cabo con pericia y que los resultados recogidos son fiables.

Se acepta la hipótesis alterna en la investigación ya que la F calc. es mayor que la F de la tabla, valor indicativo relativo a la existencia de significancia en los tratamientos en términos de rendimiento en kg de hoja por planta del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea* Var. *Italica*).

**Tabla 4.13**

*Análisis Tukey Rendimiento del cultivo de brócoli (peso de hoja)*

	T4	T1	T2	T3	
T3	0.059	0.011	0.001	0	A
T2	0.047	0.010	0		A
T1	0.047	0			A
T4	0				B



Las medias que no están relacionadas por una letra son diferentes.

La Tabla 4.11 muestra que se creó una tabla de rangos múltiples con un intervalo de confianza del 95% y una significación del 5% para el análisis de Tukey.

En la tabla 4.11 se muestra la comparación estadística de Tukey con un intervalo de confianza del 95% para las intervenciones sugeridas sobre la producción del cultivo de brócoli.

La investigación sugiere que existe una notable diferencia entre los tratamientos en lo que respecta a la producción de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*). Este resultado respalda la teoría alterna, según la cual la frecuencia de riego influye considerablemente en el rendimiento del cultivo.

#### 4.14.3 Análisis del rendimiento en términos de diámetro de cabeza (cm/planta)

Los resultados del análisis de la varianza, con un intervalo de confianza del 95%, figuran en el cuadro 4.12.

**Tabla 4.14**

*ANVA Rendimiento del cultivo de brócoli (diámetro por planta)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	F tabla (95% intervalo de confianza)
Tratamiento	3	177.9492	59.3164	337.853035	3.49
Repeticiones	12	2.1068	0.1756		
Total	15	180.0560			
C.V.: 2.32		Ft=3.49			

El C.V. es inferior al 30%, lo que indica que el experimento se llevó a cabo con pericia y que los resultados recogidos son fiables.

Se acepta la hipótesis alterna en la investigación ya que la F calculada es mayor que la F de la tabla, valor indicativo a la existencia de significancia en los tratamientos en términos de rendimiento en diámetro de cabeza por planta del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea* Var. *Italica*).

**Tabla 4.15**

Análisis Tukey *Rendimiento del cultivo de brócoli (diámetro por planta)*

	T4	T1	T2	T3	
T3	3.330	4.634	3.330	0	A
T2	5.964	1.304	0		B
T1	4.661	0			C
T4	0				D

Las medias que no están relacionadas por una letra son diferentes.

La Tabla 4.11 muestra que se creó una tabla de rangos múltiples con un intervalo de confianza del 95% y una significación del 5% para el análisis de Tukey.

La comparación estadística de Tukey con un intervalo de confianza del 95% para las intervenciones sugeridas sobre la producción del cultivo de brócoli se muestra en la Tabla 4.12.

La investigación revela una mayor aceptación de la hipótesis alterna de que las frecuencias de riego tienen un impacto significativo en la producción de brócoli (*Brassica Oleracea* Var. *Italica*). Esto se debe a que existe una diferencia sustancial entre los tratamientos que repercuten en el rendimiento del cultivo de brócoli.

#### 4.14.4 Análisis del rendimiento en términos de altura de planta (cm/planta)

Los resultados del análisis de la varianza, con un intervalo de confianza del 95%, figuran en el cuadro 4.14.

**Tabla 4.16**

*ANVA rendimiento de brócoli (altura de planta)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculada	F tabla (95% intervalo de confianza)
Tratamiento	3	42.241	14.0803	164.55528	3.49
Repeticiones	12	1.027	0.0856		
Total	15	43.268			
C.V.: 2.61		Ft=3.49			

El C.V. es inferior al 30%, lo que indica que el experimento se llevó a cabo con pericia y que los resultados recogidos son fiables.

Se acepta la hipótesis alterna en la investigación ya que la F calculada es mayor que la F de la tabla, valor indicativo relativo a la existencia de variedad en los tratamientos en términos de rendimiento en altura por planta del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*).

**Tabla 4.17**

Análisis Tukey *en altura por planta (cm/planta)*

	<i>T4</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
<i>T3</i>	4.59	2.48	2.27	0	A
<i>T2</i>	2.32	0.21	0		B
<i>T1</i>	2.11	0			B
<i>T4</i>	0				C

Las medias que no comparten una letra son diferentes.

La Tabla 4.13 muestra que se creó una tabla de rangos múltiples con un intervalo de confianza del 95% y una significación del 5% para el análisis de Tukey.

En la tabla 4.13 se muestra la comparación estadística de Tukey con un intervalo de confianza del 95% para los tratamientos propuestos sobre la producción del cultivo de brócoli.

La investigación revela una mayor aceptación de la hipótesis alternativa de que las frecuencias de riego tienen un impacto importante en la producción de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*). Esto se debe a que existe una diferencia significativa entre los tratamientos que repercuten en el rendimiento del cultivo de brócoli.

## V. DISCUSION

### 5.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental. Este tipo de investigaciones están orientadas a mejorar, perfeccionar u optimizar, que es lo que se espera en cuanto al rendimiento del cultivo (Ñaupas H. M., 2013).

### 5.2 Análisis de suelo

El tipo de suelo en la muestra 01 y la muestra 02 de la zona del proyecto es de textura francoarcillosa y franco, respectivamente. Se caracteriza por ser bajo en nitrógeno total y materia orgánica, pero rico en fósforo y pobre en potasio. No hay problemas de salinidad en la muestra 01, pero la muestra 02 tiene un ligero problema de salinidad. El contenido de materia orgánica en ambas muestras es inferior al 2%, que es un valor moderadamente bajo comparado con el propuesto por Daniel Casaca A., 2005. Al mismo tiempo, ambas muestras tienen pH y CE dentro del rango necesario para el cultivo mencionado por el centro de investigación y desarrollo de España en 2004.

### 5.3 Análisis de agua de riego

El cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. capitata*) se regó con agua que tenía un pH de 7,2 y una CE de 0,18 dS/m. Según el estudio realizado, pertenece a la clase (C1 y S1) y se caracteriza por una reacción neutra. Esto sugiere que no tiene un riesgo de salinidad y que no se prevén efectos perjudiciales para las plantas o los suelos, según la tabla de interpretación. Dado que el agua utilizada para el riego de cultivos cumple los estándares de calidad(ECA) puede utilizarse para el riego agrícola en prácticamente todos los tipos de suelo sin correr el riesgo de dañar la estructura.

## 5.4 Programación del riego

Al programar el riego con láminas de agua por goteo, se tienen en cuenta las necesidades hídricas del cultivo y la capacidad de retención del suelo en la zona donde se evaluó el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*). Con el fin de maximizar los rendimientos en los tratamientos T1, T2 y T3, se programa el riego para aplicarlo cada un día; En el tratamiento testigo (T4) cada 3 días, para ello se utiliza el riego por gravedad, como es habitual en la zona de la investigación.

Dado que siempre se dispone de un depósito de agua, se optó por utilizar el sistema de goteo para el riego diario.

Según la teoría, la reposición de la lámina de riego en el tratamiento T1 fue del 100%, lo que significa que las necesidades hídricas del cultivo estarían cubiertas; en el tratamiento 2, fue del 120%, lo que significa que el cultivo estaría sobresaturado con un 20% más de agua de la indicada por los cálculos Etc y de necesidades del cultivo; y en el tratamiento 3, fue del 80% de las necesidades hídricas del cultivo, lo que significa que el cultivo está sometido a estrés hídrico.

## 5.5 Reposición de la lámina de agua al cultivo de brócoli

El cultivo de brócoli requiere 5000-7000 m<sup>3</sup>/ha (FAO., 2006). Basándose en el tipo de riego utilizado en el lugar de la investigación, el uso de agua previsto fue de 4492,75 m<sup>3</sup>/ha en T3, 5553,44 m<sup>3</sup>/ha en T1 y 6664,13 m<sup>3</sup>/ha en T2. Utilizando la frecuencia de riego recomendada en la investigación, se calculó un uso medio de agua de 5553,44 m<sup>3</sup>/ha; esta estimación se encuentra dentro del intervalo inferior de Gratacós N. E.

## 5.6 Rendimiento del cultivo de brócoli

El Ministerio de Agricultura y Riego estima el rendimiento del cultivo de brócoli entre 6,00 y 20,00 t/ha, basándose en los escasos estudios realizados en Perú; los testimonios de los agricultores de la zona indican un rendimiento de 4-8 t/ha. El presente estudio muestra que se puede obtener un rendimiento notable de 1.0091 kg/planta, o 29.39 t/ha, en T2 cuando se aplica una lámina de riego de 120%. Este rendimiento entra dentro del rango superior especificado por el Ministerio de Agricultura y Riego y es significativo para el rendimiento del brócoli en la comunidad agrícola Tahuantinsuyo, dados el suelo y el clima locales.

## 5.7 Análisis del rendimiento del cultivo de brócoli

### a) Peso de cabeza o pellas

Según los resultados de la investigación sobre el peso de cabeza o pellas; para el cultivo de brócoli resultó en 1.091 kg con la lámina de riego (120%-T2) y mientras que la reposición de lámina de riego en el tratamiento 3 (100%-T1) se obtuvo 0.876 kg y el tratamiento 1 (80%-T3); los datos obtenidos difieren debido a que se aplicaron diferentes láminas de agua de riego por goteo distribuidos correctamente durante el proceso de investigación, donde las condiciones edafoclimáticas de la comunidad campesina Tahuantinsuyo. fueron óptimas de acuerdo a lo recomendado en la bibliografía.

b) El análisis de Tukey con un intervalo de confianza del 95% muestra que los tratamientos T1, T2 y T3, así como el tratamiento T4 como testigo, tienen rendimientos significativamente diferentes.

Los resultados del análisis de varianza y medias con un intervalo de confianza del 95% para la producción de brócoli muestran que el rendimiento del cultivo se ve considerablemente afectado por los tratamientos de lámina de agua de riego.

Dichos análisis conllevan a la elección de la hipótesis alterna de la investigación, que menciona y afirma que las láminas de riego en diferentes porcentajes influyen significativamente en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica Oleracea* Var. *Itálica*).



## VI. CONCLUSIÓN

- Se utilizó el sistema de riego por goteo al 100%, 120% y 80% de las necesidades hídricas del cultivo. La bibliografía indica que el consumo de agua de riego para este cultivo se encuentra estimada en 5000-7000 m<sup>3</sup>/ha no obstante en el proyecto se estimó el uso del recurso hídrico en 5553,44 m<sup>3</sup>/ha en T1, 6664,13 m<sup>3</sup>/ha en T2 y 4442,28 en T3.
- Los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron una producción media de cabezas o pellas en kg/planta de 0,876, 1,091 y 0,784 kg/planta, respectivamente, mientras que el tratamiento T4 mostró un rendimiento de 0,390 kg/planta. Con un aumento del rendimiento del 180,1% en T2 respecto al tratamiento testigo T4, que es el método tradicional de la zona, el tratamiento T2, que aplica el 120% de la lámina de riego de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo calculadas en gabinete, es el que tiene mayor importancia, según la teoría. Con una densidad de plantación de 0,50 x 0,75 en kg/ha, cabe esperar un rendimiento medio de 29,08 tn/ha, superior a la media nacional estimada.

Los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron un rendimiento medio de 0,1696, 1,1798 y 0,1809 kg hoja/planta, respectivamente, en términos de rendimiento en peso de hoja, mientras que el rendimiento del tratamiento T4 fue de 0,1222 kg/planta. Los tratamientos 1, 2 y 3 son idénticos a nivel estadístico, sin embargo, el tratamiento T4, el testigo, es estadísticamente diferente y tiene un rendimiento inferior.

Los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron rendimientos medios del diámetro de la cabeza en centímetros por planta (19,036, 22,366 y 17,732 cm/planta, respectivamente), mientras que el tratamiento T4 tuvo un rendimiento medio de 13,071 cm/planta. Con un aumento del rendimiento del 71,11% respecto al tratamiento testigo T4, el tratamiento T2 fue el más significativo.

Los tratamientos 1, 2 y 3 mostraron un rendimiento medio de 13,536, 11,268 y 11,054 cm/planta, respectivamente, en términos de altura de la planta. El tratamiento testigo, T4, mostró un rendimiento medio de 8,946 cm/planta. Con un aumento del rendimiento del 51,30% respecto al tratamiento testigo T4, el tratamiento T2 fue el más significativo.

- En los diferentes análisis estadísticos, se concluye que el T2 fue el que más significancia y mayor rendimiento en términos de peso de pella, diámetro y altura de planta con respecto al testigo T4, mientras que en términos de peso de hoja los T1,T2 y T3 fueron significativamente iguales estadísticamente y a su vez Estadísticamente diferentes al testigo o T4.

En consecuencia. La conclusión es que las láminas de riego tienen un gran impacto e influencia en el rendimiento productivo de brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*).

## VII. RECOMENDACIONES

Se debe considerar usar equipos más precisos y de mayor tecnología para la obtención de información de campo que minimicen y anular el error del trabajo de investigación.

Difundir conocimientos y realizar investigaciones sobre el terreno para poder comparar y debatir calidades similares producidas en una oficina o un laboratorio.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba N. & Ortiz A. (2020) Láminas de riego y su efecto en la producción de semilla de frijol común en la estación experimental La Compañía, San Marcos, Carazo [Tesis de titulación] Universidad Nacional Agraria.
- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., & Vélez, J. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.  
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje.
- Baltazar, B. (2018). Rendimiento y calidad en tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Toroty F1) empleando cuatro láminas de riego [Tesis de titulación]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bancayán, E. (2019). Evaluación de láminas de riego y eficiencia en los sistemas, utilizando sensores de humedad y modelo Penman-Monteith para cultivos de banano y maíz en la localidad de Mallares, Sullana, Piura [Tesis de titulación]. Universidad Nacional de Piura.
- Bleiholder H, et al. (2001). Estadios de las plantas mono-y dicotyledóneas. 2.a ed. Berlín: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2020, de <https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHengl2001.pdf>

- BOLEA J. 2002. Cultivo de Coles, Coliflores y Brócolis. Editorial Síntesis. Primera edición. Barcelona – España.
- Boswell, M. J. (1998). Manual de riego por goteo.
- Cardoso, M. B., & Montiel, V. Á. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería y Región*, (16), 61-68.
- CASERES E. 2009. Producción de Hortalizas. 3 ED. Costa Rica. IICA. 67 p.
- Casto, A. (2018). Determinación de la lámina de agua en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el Porvenir, Trujillo, La Libertad [Tesis de titulación]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cerna, L. (2018). Aplicación de tres láminas de riego localizado para optimizar el rendimiento del haba (*Vicia faba L.*) en el CIE Cañasbamba – UNASAM – 2016 [Tesis de titulación]. Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo”.
- Cervantes (2018). Análisis de cuatro láminas de riego en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L. cv Katya*) bajo condiciones de Cañete [Tesis de titulación]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Corporación Nacional de Desarrollo Indígena. (2018). Cómo determinar; Cuánto y Cuándo regar. Chile: Ministerio de desarrollo social.
- Chila, C. & Esmeralda, A. (2021). Efecto de láminas de riego y fertilización sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao en Calceta, Manabí [Tesis de titulación]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- DELGADO DE LA FLOR, B.F. 1988. Cultivos hortícolas. Datos básicos. Programa de Investigación de Hortalizas. UNALM. Lima, Perú.

- FAO. (2006) Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura Evapotranspiración del cultivo., 103. (pp. 7-109)
- FAO (2006). Riego y, drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. N°56.
- FAO. (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (FAOSTAT).consultado 20 enero del 2019. Disponible en <http://faostat.fao.org>
- García, G. (2018). Fuerte incremento en la demanda de crucíferas. Perspectivas de mercado para el brócoli. Revista HortiCultivos. Editorial Agro Cultivos. Recuperado de <https://www.horticultivos.com/cultivos/cruciferas/brocoli/perspectivas-de-mercado-para-el-brocoli/>
- Grassi, C. (1998). Fundamentos de riego. ULA-CIDIAT. Mérida: Venezuela.
- Gray, A. (1982). Taxonomy and evolution of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Economic Botany, 36(4), 397–410. <http://doi.org/10.1007/bf02862698>
- Gutiérrez, J. (2015). Diseño de bloques al azar. Mexico: Universidad Autonoma del Estado de Mexico.
- HIDALGO L. 2007 Guía técnica del cultivo de Brócoli. Datos sin publicar
- INSTITUTO RURAL VALLE GRANDE. 1994. Datos breves sobre hortalizas folleto. Lima, Perú.
- INFOAGRO, 2002. <http://www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm>
- Jaramillo, et al. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de brócoli en el departamento de Antioquia *Brassica oleracea* L. var. *Itálica* (1.a ed.). Corporacion colombiana de Investigacion Agropecuaria - Corpoica. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-212-4>

- Keller, T., & Hakansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* (154), 398-406.
- Kadir, J., Liliana, V., Luisa, M. (2021). Glosario de términos agronómicos. Perú. Disponible en : <https://www.unheval.edu.pe>
- Loqui, A., & Proaño, L. (2019). Evaluación de láminas de riego para el cultivo de arroz. *RECIMUNDO*, 3(3), 689–698. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(3\).septiembre.2019.689-698](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(3).septiembre.2019.689-698)
- Marcelo M. A., & Grosito Stella, M. (2018). Relacion Agua Suelo Planta. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Catamarca. <https://doi.org/978-987-661-308-8>
- Medina, L. (2015). Riego. En Instituto Nacional de Investigación Agraria, Riego y Drenaje (pp. 7-131).
- Mendoza, A. (2013). Riego por Goteo. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- MINAGRI. (2021). ANUARIO ESTADISTICO DE PRODUCCION AGRICOLA. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datosestadisticas/anuarios/category/26-produccion-agricola?download=431:agricola-2019> . Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datosestadisticas/anuarios/category/26-produccion-agricola>.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario - 2012. Lima, Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

- Merriam, J. L. and Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Montes Caurino, E. J. (2019). Efecto de la frecuencia de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de Mora (*rubus glaucus benth*) en el centro de investigación y experimentación de Cañasbamba, Yungay - Ancash, 2017. Repositorio Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. (pp. 25-32)
- Moreno Huacas, F. X. (2018). Evaluación de tres niveles de NPK en la producción de brócoli (*Brassica oleracea L.*) en la zona de Huaca, provincia del Carchi [Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:utb:49000-4372>
- Morí, A. M. (2015). Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*chenopodium quinoa Willd*), mediante el riego por goteo. Tesis Ing. agrícola. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2015.
- Nieto Nuvia. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y Cultura* (36), 12. (p. 18)
- Noel, V. R. F. (2015). Cultivo orgánico de arveja afila *Pisum sativum L.* Var. UACEN 2, con cuatro niveles de biol y tres niveles de compost, bajo las condiciones de la provincia de carhuaz, distrito de marcará. UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO.
- Ñaupas, H. M. (2013). Metodología de la investigación científica y elaboración de tesis. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (pp. 69-70)
- Paulo, C. (2013). Generación de información sobre el rendimiento y producción del cultivo de durazno (*prunus persica*) en Bolivia.



- Pizarro, F. (1985). Riego localizado de alta frecuencia. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Proaño, Z. J. (s.f.). Riego localizado. Sistema de Postgrado de la Universidad Agraria del Ecuador.
- Rafael, A., Bairez, P., Hernandez, C. & Mena, O. (1989). Evaluación de los bulbos de humedecimiento con fines de generar datos preliminares para el diseño de sistemas de riego por goteo. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Real Academia Española, s.f. Diccionario enciclopédico de la lengua española. Revisado el 10 de octubre del 2019. Disponible en: <https://dle.rae.es/diccionario>
- Roberto, P. (2011). Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado.
- RODRIGUEZ G. DIEGO. 2010. Cultivo Ecológico de Hortalizas, Fundación Hogares Juveniles Campesinos, ED. LEXUS, Bogota Colombia; Edición 2010; 175 p.
- Salas, A. F., & Urrestarazu, L. (2008). Hidráulica y Riego.
- Santos Pereira, L., Arturo de Juan Valero, J., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo Martin- Benito, J. M. (2010). El Riego y sus Tecnologías. Portugal: Centro Regional de Estudios del Agua - Universidad de Castilla-La Mancha. <https://doi.org/13:978-84-692-9979-1>
- Toledo, J. (2003). Cultivo del brócoli. Instituto Nacional de Innovación Agraria, 58. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/895>
- Torres Zambrano, J. P., Cortés Flores, J. I., Turrent Fernández, A., Hernández Romero, E., & Muratalla Lúa, A. (2008). Rendimiento de fruto y numero de ramas principales en árboles de Durazno intercalados con milpa. *SciELO*, 26(3), 265-273.

USDA. (5 de abril de 2020). Plants Profile for Brassica oleracea italica (sprouting broccoli).

Recuperado de <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=BROLI>

Vasquez, V. A., & Vasquez, R. I. (2015). Principios básicos de riego. Lima - Perú: Editorial: Fimart S.A.C.

Zamora, E. (2016). El cultivo del brócoli. División de Ciencias Biológicas y de Salud. Departamento de Agricultura y Ganadería – Hermosillo, Sonora, México.  
<https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>

## IX. ANEXOS

### Anexo 01: Vista panorámica de la zona donde se llevó a cabo el proyecto





## Anexo 02: Extracción de muestra de suelos y agua

**Suelo.** Se extrajeron dos muestras de suelos (2kg cada una) las cuales fueron entregadas para su evaluación al laboratorio de agua y suelo de la FCA de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).



**Agua.** Se tomó un recipiente hermético de 500 ml con la muestra de agua directamente del sistema de riego instalado.. La muestra fue entregada para su evaluación al laboratorio de agua y suelo de la FCA de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).





## Anexo 03: Análisis físico químicos del suelo en el área donde se llevó a cabo el proyecto

### Análisis de fertilidad del suelo (Muestra M-01)



### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FISICOS

**SOLICITANTE** : García Méndez Luis Sergio - Tesista

**MUESTRA** : M-01.

**UBICACIÓN** : Mal Paso - Tingo - Carhuaz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O. %	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E. ds/m.
	Arena	Limó	Arcilla							
131-a	36	35	29	Franco arcilloso	8.15	1.206	0.050	12	106	0.440

#### Parámetros Físicos:

M N°	Da. g/cm <sup>3</sup>	Dr. g/cm <sup>3</sup>	C.C. %	P.M. %	Humedad % ( Estufa)
131-a	1.47	2.73	27.00	11.00	16.59

#### RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arcilloso, se caracteriza por tener una reacción alcalina, pobre en materia orgánica y en % de nitrógeno total, medianamente rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 31 de mayo del 2022.

### Análisis de fertilidad del suelo (Muestra M-01)



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"Santiago Antúnez de Mayolo"**  
**"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN**  
 Teléfax: 043-426588 - 106  
**HUARAZ – REGIÓN ANCAESH**



**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD Y FISICOS**

**SOLICITANTE** : García Méndez Luis Sergio - Tesista

**MUESTRA** : M-02.

**UBICACIÓN** : Mal Paso - Tinco - Carhuaz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcillo							
131-b	40	35	25	Franco	8.07	1.608	0.080	35	113	0.470

**Parámetros Físicos:**

M N°	Da. g/cm³	Dr. g/cm³	C.C. %	P.M. %	Humedad % ( Estufa)
131-b	1.43	2.59	23.00	9.00	14.60

**RECOMENDACIONES Y  
OBSERVACIONES ESPECIALES:**

La muestra es de textura franco, se caracteriza por tener una reacción alcalina, pobre en materia orgánica y en % de nitrógeno total, rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 31 de mayo del 2022.



*[Handwritten Signature]*  
 Lic. Sr. Sergio Capellano  
 ASISTENTE TECNICO DE LABORATORIO

Análisis de fertilidad del suelo (Muestra M-01)





### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUAS

SOLICITANTE : Luis Sergio García Méndez - Tesista

MUESTRA : M - 01 Asequia

UBICACIÓN : Malpaso - Tinto - Carhuaz - Ancash

N° MUESTRA	355
TIPO	Riego
pH	7.20
C.E.	dSm 0.18
CALCIO	me/l 1.83
MAGNECIO	me/l 0.65
POTASIO	me/l 0.09
SODIO	me/l 0.01
<b>SUMA DE CATIONES</b>	<b>2.60</b>
NITRATOS	me/l N.D
CARBONATOS	me/l 0.00
BICARBONATOS	me/l 0.00
SULFATOS	me/l 0.08
CLORUROS	me/l 2.01
<b>SUMA DE ANIONES</b>	<b>2.09</b>
SODIO	% 0.31
RAS	0.01
BORO	ppm N.D
Clasificación	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>

- ND: NO DETERMINADO

CONCLUSIONES: La muestra se caracteriza por tener una reacción neutra, se encuentra ubicado en la clase (C<sub>1</sub> y S<sub>1</sub>), (ver tabla de Interpretación).

Huaraz, 15 de setiembre del 2022

DGA  
M.Sc. Maximiliano Castillo Romero  
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS



## Anexo 04: Diseño Agronómico para el brócoli

Para la duración de la investigación, se determina un valor máximo de ETo de 1,05 mm/día. 1,05 es el valor máximo de Kc para el cultivo de brócoli. Para el diseño agronómico, se muestran los siguientes resultados.

<b>ETc</b> <b>Mm/día</b>	<b>M.Plantacion</b> <b>(0.5*0.75)</b>	<b>Nn</b> <b>(mm/día)</b>	<b>Nt</b> <b>(mm/día)</b>	<b>Nt/Planta</b> <b>(l/planta- día)</b>	<b>Tr</b> <b>(min)</b>
0.36	0.375	0.36	7.20	7.20	29.00

### Para el Cálculo de goteros por planta

Mediante ensayo se determina el número de goteros necesarios para cada planta, hasta determinar un porcentaje de superficie mojada entre el 33% y el 50%.

Se trabaja con la fórmula 2.24 y 2.25, para el porcentaje de área humedecida (Pw %)

Número de goteros unidades por planta: 2 unidades

Caudal de gotero en litros /hora:  $Q = 4.00$  l/h

Volumen aplicado en litros:  $V = 12$  litros

Marco de plantación (área):  $At = 0.5$  m x  $0.75$  m

Resultado:  $Pw = 64.05\%$

Por cada planta de brócoli, instale dos (2) emisores autocompensados(goteros) con una capacidad de descarga de 4,00 l/h..

## Anexo 05: Instalación para la aplicación del riego por goteo.









## Instalación de riego por goteo





## Anexo 06: Instalación de evaporímetro clase A



## Anexo 7: Medición del Caudal para Cu



## Anexo 8: Medición del peso del producto por planta





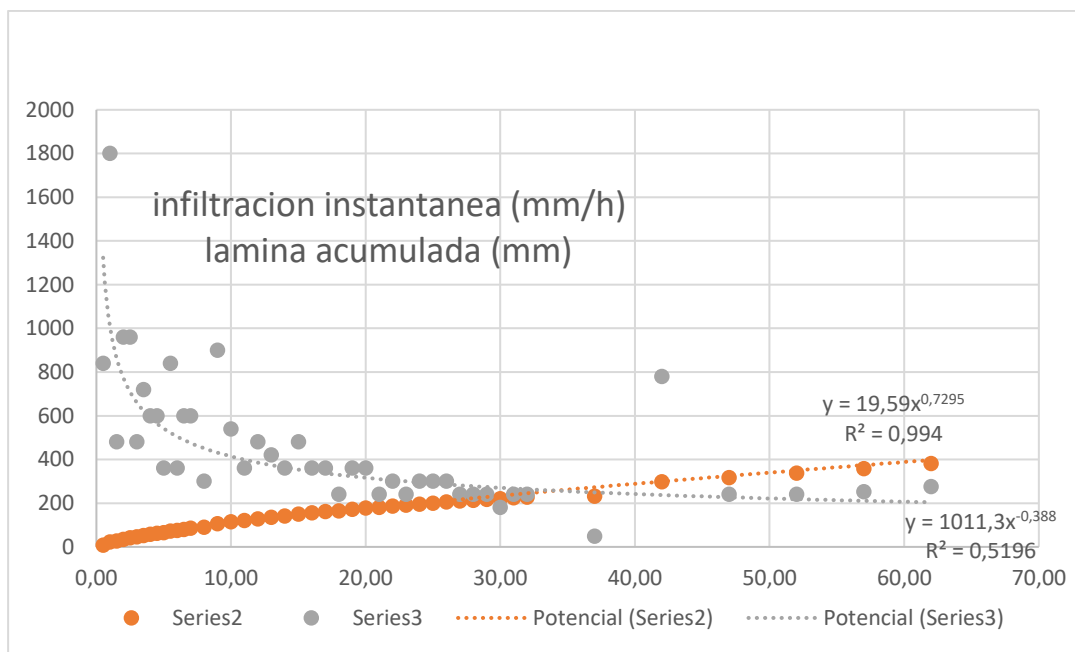
## Anexo 9. Infiltración en el suelo.

Los valores de tiempo parcial y altura de infiltración se obtuvieron durante la prueba de campo.

Estos datos se utilizan para crear la tabla siguiente:

DATOS	HORA	LECTURA (cm)	CAMBIO (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (mm)		VELOCIDAD INFILTRADA (mm/h)
				PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO	INSTAN.
1	10:19:30	19		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10:20:00	18.3		0.50	0.50	7	7	840.00
3	10:20:30	16.8		0.50	1.00	15	22	1800.00
4	10:21:00	16.4		0.50	1.50	4	26	480.00
5	10:21:30	15.6		0.50	2.00	8	34	960.00
6	10:22:00	14.8		0.50	2.50	8	42	960.00
7	10:22:30	14.4		0.50	3.00	4	46	480.00
8	10:23:00	13.8		0.50	3.50	6	52	720.00
9	10:23:30	13.3		0.50	4.00	5	57	600.00
10	10:24:00	12.8		0.50	4.50	5	62	600.00
11	10:24:30	12.5		0.50	5.00	3	65	360.00
12	10:25:00	11.8		0.50	5.50	7	72	840.00
13	10:25:30	11.5		0.50	6.00	3	75	360.00
14	10:26:00	11		0.50	6.50	5	80	600.00
15	10:26:30	10.5		0.50	7.00	5	85	600.00
16	10:27:00	10	19	1.00	8.00	5	90	300.00
17	10:28:00	17.5		1.00	9.00	15	105	900.00
18	10:29:00	16.6		1.00	10.00	9	114	540.00
19	10:30:00	16		1.00	11.00	6	120	360.00
20	10:31:00	15.2		1.00	12.00	8	128	480.00
21	10:32:00	14.5		1.00	13.00	7	135	420.00
22	10:33:00	13.9		1.00	14.00	6	141	360.00
23	10:34:00	13.1		1.00	15.00	8	149	480.00
24	10:35:00	12.5		1.00	16.00	6	155	360.00
25	10:36:00	11.9		1.00	17.00	6	161	360.00
26	10:37:00	11.5		1.00	18.00	4	165	240.00
27	10:38:00	10.9		1.00	19.00	6	171	360.00
28	10:39:00	10.3		1.00	20.00	6	177	360.00
29	10:40:00	9.9		1.00	21.00	4	181	240.00
30	10:41:00	9.4		1.00	22.00	5	186	300.00
31	10:42:00	9		1.00	23.00	4	190	240.00

32	10:43:00	8.5		1.00	24.00	5	195	300.00
33	10:44:00	8		1.00	25.00	5	200	300.00
34	10:45:00	7.5		1.00	26.00	5	205	300.00
35	10:46:00	7.1		1.00	27.00	4	209	240.00
36	10:47:00	6.7		1.00	28.00	4	213	240.00
37	10:48:00	6.3		1.00	29.00	4	217	240.00
38	10:49:00	6		1.00	30.00	3	220	180.00
39	10:50:00	5.6		1.00	31.00	4	224	240.00
40	10:51:00	5.2		1.00	32.00	4	228	240.00
41	10:52:00	4.8	25	5.00	37.00	4	232	48.00
42	10:57:00	18.5		5.00	42.00	65	297	780.00
43	11:02:00	16.5		5.00	47.00	20	317	240.00
44	11:07:00	14.5		5.00	52.00	20	337	240.00
45	11:12:00	12.4		5.00	57.00	21	358	252.00
46	11:17:00	10.1		5.00	62.00	23	381	276.00



$$I_{inst} = 857.4543t^{-0.2705}$$

$$I_b = 21.64311779 \quad \text{cm/H}$$



## Anexo 10: Coeficiente de uniformidad de goteros.

Para calcular el coeficiente de uniformidad (CU), se toma como muestra un gotero de cada planta de la parcela experimental de malla (los cuadrados marcados con una "x"). La presión del sistema se mantuvo en 0,8 bar. El esquema siguiente ilustra una localización similar de las parcelas experimentales en función de su tratamiento y repetición.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T1R1	X		X		X		X	X			X		X	
T1R2		X		X		X		X		X		X		X
T1R3		X		X		X		X	X					X
T1R4	X			X			X	X			X	X		X

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
T2R4		X	X		X				X			X		X	X
T2R3	X			X		X			X		X	X	X		
T2R1		X		X		X	X	X			X			X	
T2R2	X			X	X	X			X				X		X

T3R2	X		X		X	X		X			X		X	
T3R4		X		X		X		X		X		X	X	X
T3R1		X		X			X			X	X	X	X	
T3R3		X		X		X	X		X		X	X		

### Datos caudales obtenidos en campo

3.75	3.76	3.72	3.88
3.69	3.72	3.69	3.77
3.72	3.74	3.74	3.76
3.72	3.75	3.72	3.92
3.72	3.75	3.79	3.74
3.71	3.68	3.63	3.72
3.76	3.84	3.69	3.84
3.75	3.78	3.78	3.76
3.63	3.67	3.66	3.89
3.76	3.77	3.99	3.92
3.8	3.84	3.93	3.81
3.88	3.82	3.85	3.89
3.87	3.73	3.61	3.8
3.74	3.63	3.74	3.98
3.79	3.77	3.98	3.72

3.68	3.74	3.72	3.74
3.84	3.72	3.71	3.75
3.78	3.79	3.76	3.75
3.67	3.63	3.75	3.68
3.77	3.69	3.63	3.84
3.84	3.78	3.76	3.78
3.74	3.72	3.74	3.88
3.72	3.71	3.72	3.87
3.84	3.76	3.84	3.74
3.76	3.75	3.76	3.79
3.89	3.63	3.89	3.68
3.92	3.76	3.92	3.84
3.81	3.8	3.81	3.78

Se orden los datos de mayor a menor

3.99	3.81	3.76	3.72
3.98	3.81	3.76	3.72
3.98	3.81	3.76	3.72
3.93	3.8	3.75	3.72
3.92	3.8	3.75	3.72
3.92	3.8	3.75	3.72
3.92	3.79	3.75	3.72
3.92	3.79	3.75	3.71
3.89	3.79	3.75	3.71
3.89	3.79	3.75	3.71
3.89	3.78	3.75	3.69
3.89	3.78	3.74	3.69
3.88	3.78	3.74	3.69
3.88	3.78	3.74	3.69
3.88	3.78	3.74	3.68
3.87	3.78	3.74	3.68
3.87	3.77	3.74	3.68
3.85	3.77	3.74	3.68
3.84	3.77	3.74	3.67
3.84	3.77	3.74	3.67
3.84	3.76	3.74	3.66
3.84	3.76	3.73	3.63
3.84	3.76	3.72	3.63
3.84	3.76	3.72	3.63

3.84	3.76	3.72	3.63
3.84	3.76	3.72	3.63
3.84	3.76	3.72	3.63
3.82	3.76	3.72	3.61

El 25% de los datos totales con los valores más bajos están representados por los datos oscurecidos.

El coeficiente de uniformidad (Cu) de los goteros se determina utilizando la ecuación 2.18, también conocida como ecuación del cuarto menor. Esta ecuación se basa en datos de campo, lo que significa que evalúa los sistemas de riego que se utilizan actualmente. Sin embargo, ignora diversos factores como las variaciones en la fabricación de los emisores, los atascos, el drenaje de los emisores, el número de emisores y los factores hidráulicos.

Resultando:

Promedio 25% 3.68 l/h

Promedio 100% 3.77 l/h

Por lo tanto:

Descripción	Resultado
Presión en el sistema	0.8 bar
Tiempo de riego	20 min
Número de goteros evaluados	112 unid
Caudal promedio del 25 % de emisores más bajo	3.68 l/h
Caudal promedio del total	3.77 l/h
Coefficiente de uniformidad (Cu)	<b>97.59 %</b>

## Anexo 11: Pluviómetro.

Se emplea un pluviómetro hecho a mano que mide 17,50 cm de profundidad y tiene un radio de boca de 19.00 cm. Tiene las esquinas afiladas para evitar salpicaduras.

Para saber cuánta precipitación ha caído durante el día, se utiliza inmediatamente una regla graduada al milímetro para hacer la lectura.

El diámetro de la boca de 19.00 cm se traduce en una superficie de 238,528 cm<sup>2</sup>. Realizando la calibración correspondiente, se determina que 1 mm de precipitación equivale a 43.00 mm de lectura en el pluviómetro.



## Anexo 12: Calculo de Etc, Ln, Lb, IR

DATOS DE CAMPO					Kc	Etc(m m/día)	COEFICIENTE CORRECTORES			ETc (corregido) (mm/día)	Pe Precipitación efectiva (mm)	Ln (mm/día)	Lb (mm/día)	IR
Fecha		Eva p. "A" (m m/ día)	Kp	ETo(m m/día)			Localización KI	Var. Climática Kr	Var.					
Día del mes	Día del proyecto								Advención					
12/09/2022	1	0.12	0.7	0.084	0.95	0.080	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.73	1.0
13/09/2022	2	0.12	0.7	0.084	0.95	0.080	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.73	1.0
14/09/2022	3	0.23	0.7	0.161	0.95	0.153	0.36	1.2	1.01	0.07	0.00	0.07	7.14	1.0
15/09/2022	4	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
16/09/2022	5	0.15	0.7	0.105	0.95	0.100	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.66	1.0
17/09/2022	6	0.05	0.7	0.035	0.95	0.033	0.36	1.2	1.01	0.01	0.00	0.01	1.55	1.0
18/09/2022	7	0.15	0.7	0.105	0.95	0.100	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.66	1.0
19/09/2022	8	0.05	0.7	0.035	0.95	0.033	0.36	1.2	1.01	0.01	0.00	0.01	1.55	1.0
20/09/2022	9	0.35	0.7	0.245	0.95	0.233	0.36	1.2	1.01	0.10	0.00	0.10	10.87	1.0
21/09/2022	10	0.60	0.7	0.420	0.95	0.399	0.36	1.2	1.01	0.17	0.00	0.17	18.63	1.0
22/09/2022	11	1.04	0.7	0.728	0.95	0.692	0.36	1.2	1.01	0.30	0.00	0.30	32.29	1.0
23/09/2022	12	0.12	0.7	0.084	0.95	0.080	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.73	1.0
24/09/2022	13	0.07	0.7	0.049	0.95	0.047	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.17	1.0
25/09/2022	14	1.50	0.7	1.050	0.95	0.998	0.36	1.2	1.01	0.43	0.33	0.00	0.00	0.0
26/09/2022	15	0.48	0.7	0.336	0.95	0.319	0.36	1.2	1.01	0.14	1.02	0.00	0.00	0.0
27/09/2022	16	0.48	0.7	0.336	0.95	0.319	0.36	1.2	1.01	0.14	0.48	0.00	0.00	0.0
28/09/2022	17	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
29/09/2022	18	0.30	0.7	0.210	0.95	0.200	0.36	1.2	1.01	0.09	0.00	0.09	9.31	1.0
30/09/2022	19	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
01/10/2022	20	0.40	0.7	0.280	0.95	0.266	0.36	1.2	1.01	0.11	0.3	0.00	0.00	0.0
02/10/2022	21	0.10	0.7	0.070	0.95	0.067	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
03/10/2022	22	0.65	0.7	0.455	0.95	0.432	0.36	1.2	1.01	0.19	0.00	0.19	20.18	1.0
04/10/2022	23	0.15	0.7	0.105	0.95	0.100	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.66	1.0
05/10/2022	24	0.14	0.7	0.098	0.95	0.093	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.35	1.0
06/10/2022	25	0.56	0.7	0.392	0.95	0.372	0.36	1.2	1.01	0.16	0.00	0.16	17.39	1.0
07/10/2022	26	0.38	0.7	0.266	0.95	0.253	0.36	1.2	1.01	0.11	0.00	0.11	11.80	1.0

08/10/2022	27	0.32	0.7	0.224	0.95	0.213	0.36	1.2	1.01	0.09	0.00	0.09	9.94	1.0
09/10/2022	28	0.30	0.7	0.210	0.95	0.200	0.36	1.2	1.01	0.09	0.00	0.09	9.31	1.0
10/10/2022	29	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
11/10/2022	30	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
12/10/2022	31	0.18	0.7	0.126	0.95	0.120	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	5.59	1.0
13/10/2022	32	0.22	0.7	0.154	0.95	0.146	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.83	1.0
14/10/2022	33	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
15/10/2022	34	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
16/10/2022	35	0.28	0.7	0.196	0.95	0.186	0.36	1.2	1.01	0.08	0.00	0.08	8.69	1.0
17/10/2022	36	0.12	0.7	0.084	0.95	0.080	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.73	1.0
18/10/2022	37	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
19/10/2022	38	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
20/10/2022	39	0.06	0.7	0.042	0.95	0.040	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	1.86	1.0
21/10/2022	40	1.14	0.7	0.798	0.95	0.758	0.36	1.2	1.01	0.33	0.00	0.33	35.40	1.0
22/10/2022	41	0.14	0.7	0.098	0.95	0.093	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.35	1.0
23/10/2022	42	0.14	0.7	0.098	0.95	0.093	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.35	1.0
24/10/2022	43	0.16	0.7	0.112	0.95	0.106	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	4.97	1.0
25/10/2022	44	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
26/10/2022	45	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
27/10/2022	46	0.14	0.7	0.098	0.95	0.093	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.35	1.0
28/10/2022	47	0.50	0.7	0.350	0.95	0.333	0.36	1.2	1.01	0.14	0.00	0.14	15.52	1.0
29/10/2022	48	0.08	0.7	0.056	0.95	0.053	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.48	1.0
30/10/2022	49	0.08	0.7	0.056	0.95	0.053	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.48	1.0
31/10/2022	50	0.10	0.7	0.070	0.95	0.067	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
01/11/2022	51	0.10	0.7	0.070	0.95	0.066	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
02/11/2022	52	0.10	0.7	0.070	0.95	0.067	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
03/11/2022	53	0.10	0.7	0.070	0.95	0.066	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
04/11/2022	54	1.10	0.7	0.770	0.95	0.732	0.36	1.2	1.01	0.31	0.00	0.31	34.15	1.0
05/11/2022	55	0.15	0.7	0.105	0.95	0.100	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.66	1.0
06/11/2022	56	0.15	0.7	0.105	0.95	0.100	0.36	1.2	1.01	0.04	0.00	0.04	4.66	1.0
07/11/2022	57	0.25	0.7	0.175	0.95	0.166	0.36	1.2	1.01	0.07	0.00	0.07	7.76	1.0
08/11/2022	58	0.09	0.7	0.063	0.95	0.060	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	2.79	1.0
09/11/2022	59	0.11	0.7	0.077	0.95	0.073	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.42	1.0

10/11/2022	60	0.20	0.7	0.140	0.95	0.133	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.21	1.0
11/11/2022	61	0.60	0.7	0.420	0.95	0.399	0.36	1.2	1.01	0.17	0.00	0.17	18.63	1.0
12/11/2022	62	0.10	0.7	0.070	0.95	0.067	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.10	1.0
13/11/2022	63	0.08	0.7	0.056	0.85	0.048	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.22	1.0
14/11/2022	64	0.12	0.7	0.084	0.85	0.071	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.33	1.0
15/11/2022	65	0.10	0.7	0.070	0.85	0.060	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	2.78	1.0
16/11/2022	66	0.09	0.7	0.063	0.85	0.054	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.50	1.0
17/11/2022	67	1.11	0.7	0.777	0.85	0.660	0.36	1.2	1.01	0.28	0.00	0.28	30.84	1.0
18/11/2022	68	0.20	0.7	0.140	0.85	0.119	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	5.56	1.0
19/11/2022	69	0.20	0.7	0.140	0.85	0.119	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	5.56	1.0
20/11/2022	70	0.18	0.7	0.126	0.85	0.107	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	5.00	1.0
21/11/2022	71	0.22	0.7	0.154	0.85	0.131	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.11	1.0
22/11/2022	72	0.22	0.7	0.154	0.85	0.131	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.11	1.0
23/11/2022	73	0.22	0.7	0.154	0.85	0.131	0.36	1.2	1.01	0.06	0.00	0.06	6.11	1.0
24/11/2022	74	0.08	0.7	0.056	0.85	0.048	0.36	1.2	1.01	0.02	0.00	0.02	2.22	1.0
25/11/2022	75	0.12	0.7	0.084	0.85	0.071	0.36	1.2	1.01	0.03	0.00	0.03	3.33	1.0
26/11/2022	76	0.28	0.7	0.196	0.85	0.167	0.36	1.2	1.01	0.07	0.00	0.07	7.78	1.0
27/11/2022	77	0.32	0.7	0.224	0.85	0.190	0.36	1.2	1.01	0.08	0.00	0.08	8.89	1.0
28/11/2022	78	0.20	0.7	0.140	0.85	0.119	0.36	1.2	1.01	0.05	0.00	0.05	5.56	1.0

**Leyenda:**

Kp: Coeficiente de Tanque

Ln: Lamina neta

ETo: Evapotranspiración de referencia

Lb: Lamina Bruta

Kc: Coeficiente de cultivo

Ir: Intervalo de riego

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Tr: Tiempo de riego

Kl: Coeficiente por localización

Kr: Coeficiente por Variación climática

Ka: Variación por advección

**Anexo 13:** Tratamientos y sus tiempos de riego Tr (h).

T1			T2			T3		
80%			100%			120%		
mm	m3/Ha	Tr(h)	mm	m3/Ha	Tr(h)	mm	m3/Ha	Tr(h)
2.98	29.81	0.25	3.73	37.26	0.31	4.47	44.71	0.38
2.98	29.81	0.25	3.73	37.26	0.31	4.47	44.71	0.38
5.71	57.13	0.48	7.14	71.41	0.60	8.57	85.69	0.72
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
3.73	37.26	0.31	4.66	46.57	0.39	5.59	55.89	0.47
1.24	12.42	0.10	1.55	15.52	0.13	1.86	18.63	0.16
3.73	37.26	0.31	4.66	46.57	0.39	5.59	55.89	0.47
1.24	12.42	0.10	1.55	15.52	0.13	1.86	18.63	0.16
8.69	86.94	0.73	10.87	108.67	0.92	13.04	130.40	1.10
14.90	149.03	1.26	18.63	186.29	1.57	22.35	223.55	1.89
25.83	258.32	2.18	32.29	322.90	2.72	38.75	387.49	3.27
2.98	29.81	0.25	3.73	37.26	0.31	4.47	44.71	0.38
1.74	17.39	0.15	2.17	21.73	0.18	2.61	26.08	0.22
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
7.45	74.52	0.63	9.31	93.15	0.79	11.18	111.77	0.94
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
16.15	161.45	1.36	20.18	201.82	1.70	24.22	242.18	2.04
3.73	37.26	0.31	4.66	46.57	0.39	5.59	55.89	0.47
3.48	34.77	0.29	4.35	43.47	0.37	5.22	52.16	0.44
13.91	139.10	1.17	17.39	173.87	1.47	20.86	208.65	1.76
9.44	94.39	0.80	11.80	117.98	1.00	14.16	141.58	1.19
7.95	79.48	0.67	9.94	99.36	0.84	11.92	119.23	1.01
7.45	74.52	0.63	9.31	93.15	0.79	11.18	111.77	0.94
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
4.47	44.71	0.38	5.59	55.89	0.47	6.71	67.06	0.57
5.46	54.65	0.46	6.83	68.31	0.58	8.20	81.97	0.69
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63



6.95	69.55	0.59	8.69	86.94	0.73	10.43	104.32	0.88
2.98	29.81	0.25	3.73	37.26	0.31	4.47	44.71	0.38
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
1.49	14.90	0.13	1.86	18.63	0.16	2.24	22.35	0.19
28.32	283.16	2.39	35.40	353.95	2.99	42.47	424.74	3.58
3.48	34.77	0.29	4.35	43.47	0.37	5.22	52.16	0.44
3.48	34.77	0.29	4.35	43.47	0.37	5.22	52.16	0.44
3.97	39.74	0.34	4.97	49.68	0.42	5.96	59.61	0.50
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
3.48	34.77	0.29	4.35	43.47	0.37	5.22	52.16	0.44
12.42	124.19	1.05	15.52	155.24	1.31	18.63	186.29	1.57
1.99	19.87	0.17	2.48	24.84	0.21	2.98	29.81	0.25
1.99	19.87	0.17	2.48	24.84	0.21	2.98	29.81	0.25
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
27.32	273.23	2.30	34.15	341.53	2.88	40.98	409.84	3.46
3.73	37.26	0.31	4.66	46.57	0.39	5.59	55.89	0.47
3.73	37.26	0.31	4.66	46.57	0.39	5.59	55.89	0.47
6.21	62.10	0.52	7.76	77.62	0.65	9.31	93.15	0.79
2.24	22.35	0.19	2.79	27.94	0.24	3.35	33.53	0.28
2.73	27.32	0.23	3.42	34.15	0.29	4.10	40.98	0.35
4.97	49.68	0.42	6.21	62.10	0.52	7.45	74.52	0.63
14.90	149.03	1.26	18.63	186.29	1.57	22.35	223.55	1.89
2.48	24.84	0.21	3.10	31.05	0.26	3.73	37.26	0.31
1.78	17.78	0.15	2.22	22.22	0.19	2.67	26.67	0.22
2.67	26.67	0.22	3.33	33.34	0.28	4.00	40.00	0.34
2.22	22.22	0.19	2.78	27.78	0.23	3.33	33.34	0.28
2.00	20.00	0.17	2.50	25.00	0.21	3.00	30.00	0.25
24.67	246.69	2.08	30.84	308.36	2.60	37.00	370.03	3.12
4.44	44.45	0.37	5.56	55.56	0.47	6.67	66.67	0.56
4.44	44.45	0.37	5.56	55.56	0.47	6.67	66.67	0.56
4.00	40.00	0.34	5.00	50.00	0.42	6.00	60.01	0.51
4.89	48.89	0.41	6.11	61.12	0.52	7.33	73.34	0.62
4.89	48.89	0.41	6.11	61.12	0.52	7.33	73.34	0.62
4.89	48.89	0.41	6.11	61.12	0.52	7.33	73.34	0.62
1.78	17.78	0.15	2.22	22.22	0.19	2.67	26.67	0.22
2.67	26.67	0.22	3.33	33.34	0.28	4.00	40.00	0.34

6.22	62.23	0.52	7.78	77.78	0.66	9.33	93.34	0.79
7.11	71.12	0.60	8.89	88.90	0.75	10.67	106.68	0.90
4.44	44.45	0.37	5.56	55.56	0.47	6.67	66.67	0.56



## Anexo 14: Resultados de los análisis estadísticos mediante software minitab

Rendimiento peso de cabeza o pella kg/planta

### Modelo lineal general: Rend. (Kg) vs. Tratamiento

Método

Codificación de factores (-1; 0; +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	1.03151	0.343838	46.92	0.000
Error	12	0.08793	0.007328		
Total	15	1.11945			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0856014	92.15%	90.18%	86.04%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0.7850	0.0214	36.68	0.000	
Tratamiento					
1	0.0905	0.0371	2.44	0.031	1.50
2	0.3056	0.0371	8.24	0.000	1.50
3	-0.0008	0.0371	-0.02	0.983	1.50

Ecuación de regresión

Rend. (Kg) = 0.7850 + 0.0905 Tratamiento\_1 + 0.3056 Tratamiento\_2 - 0.0008 T  
tratamiento\_3  
- 0.3953 Tratamiento\_4

### Comparaciones para Rend. (Kg)

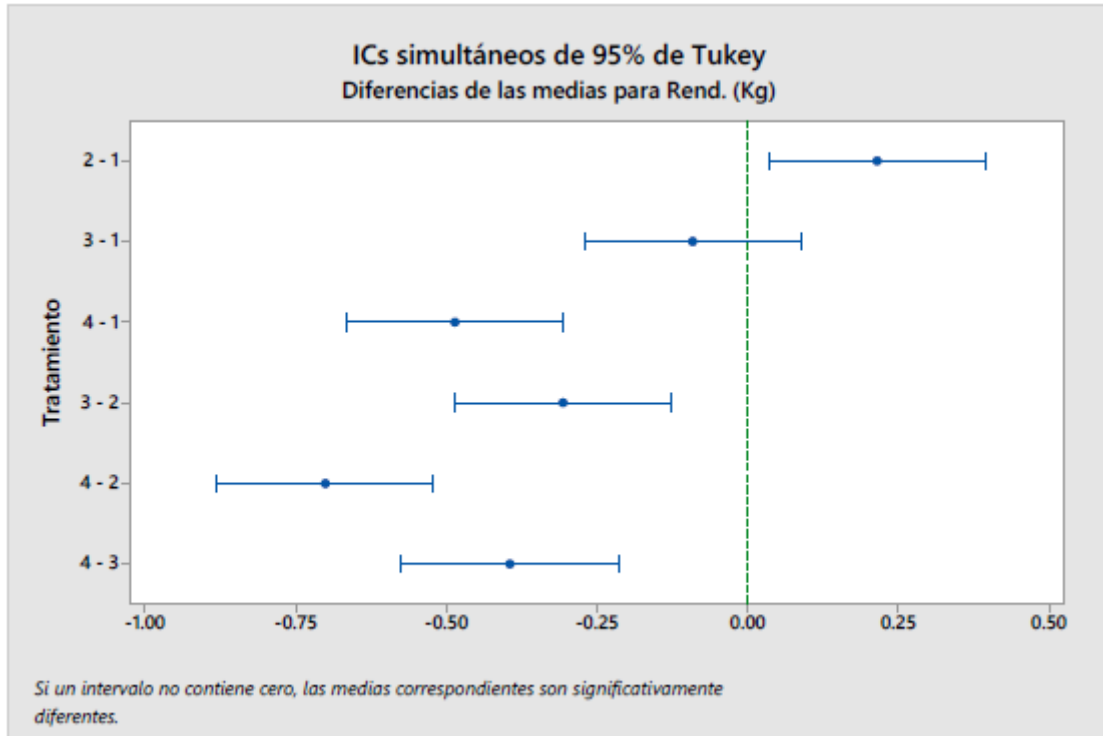
#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Rend. (Kg), Término = T tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
2	4	1.09057	A
1	4	0.87554	B
3	4	0.78420	B
4	4	0.38964	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### ICs simultáneos de 95% de Tukey



## Rendimiento peso de hoja kg/planta

### Modelo lineal general: Peso Hojas (kg) vs. Tratamiento

Método

Codificación de factores (-1; 0; +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.009237	0.003079	23.34	0.000
Error	12	0.001583	0.000132		
Total	15	0.010820			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0114855	85.37%	81.71%	73.99%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0.16315	0.00287	56.82	0.000	
Tratamiento					
1	0.00650	0.00497	1.31	0.216	1.50
2	0.01667	0.00497	3.35	0.006	1.50
3	0.01775	0.00497	3.57	0.004	1.50

Ecuación de regresión

$$\text{Peso Hojas (kg)} = 0.16315 + 0.00650 \text{ Tratamiento}_1 + 0.01667 \text{ Tratamiento}_2 + 0.01775 \text{ Tratamiento}_3 - 0.04092 \text{ Tratamiento}_4$$

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Peso Hojas (kg)	Ajuste	Resid	Resid est.
4	0.14357	0.12223	0.02134	2.15 R

Residuo grande R

### Comparaciones para Peso Hojas (kg)

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Peso Hojas (kg), Términ

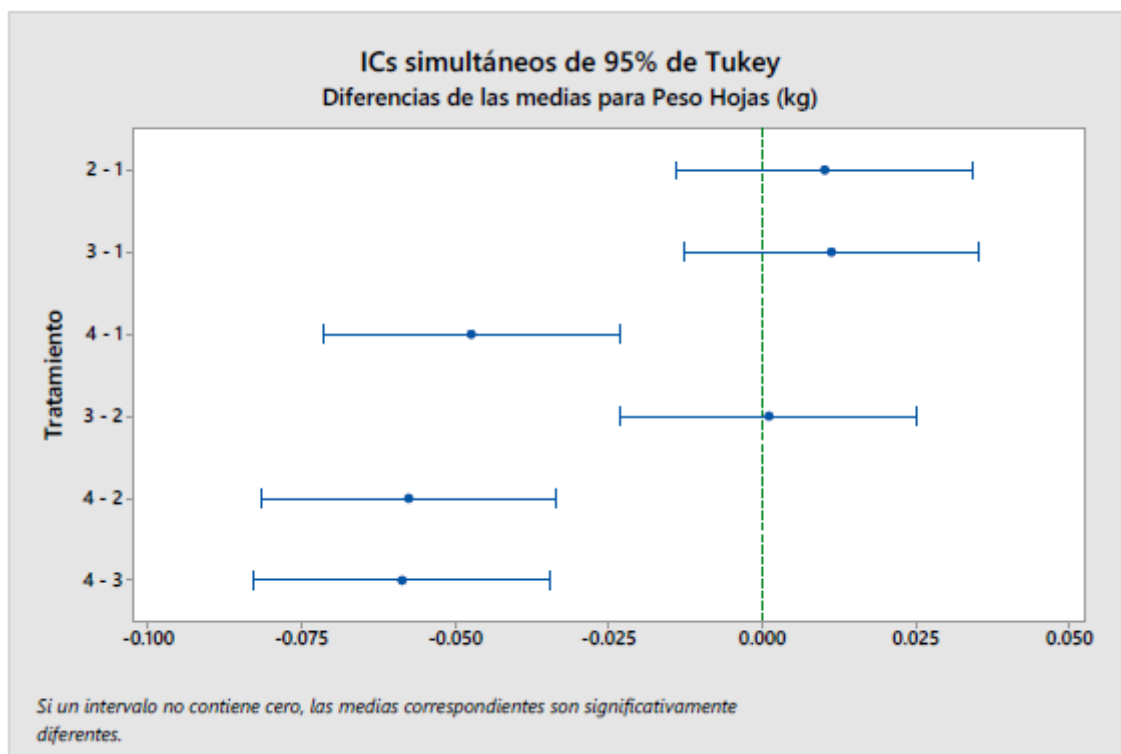
## o = Tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
3	4	0.180893	A
2	4	0.179821	A
1	4	0.169643	A
4	4	0.122232	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## ICs simultáneos de 95% de Tukey



## Rendimiento diámetro de cabeza (cm/planta)

### Modelo lineal general: Diametro(Cm) vs. Tratamiento

Método

Codificación de factores (-1; 0; +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	177.949	59.3164	337.85	0.000
Error	12	2.107	0.1756		
Total	15	180.056			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.419009	98.83%	98.54%	97.92%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	18.051	0.105	172.32	0.000	
Tratamiento					
1	0.984	0.181	5.43	0.000	1.50
2	4.315	0.181	23.78	0.000	1.50
3	-0.319	0.181	-1.76	0.104	1.50

Ecuación de regresión

Diametro(Cm) = 18.051 + 0.984 Tratamiento\_1 + 4.315 Tratamiento\_2 - 0.319 Tratamiento\_3 - 4.980 Tratamiento\_4

### Comparaciones para Diametro(Cm)

#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Diametro(Cm), Término = Tratamiento

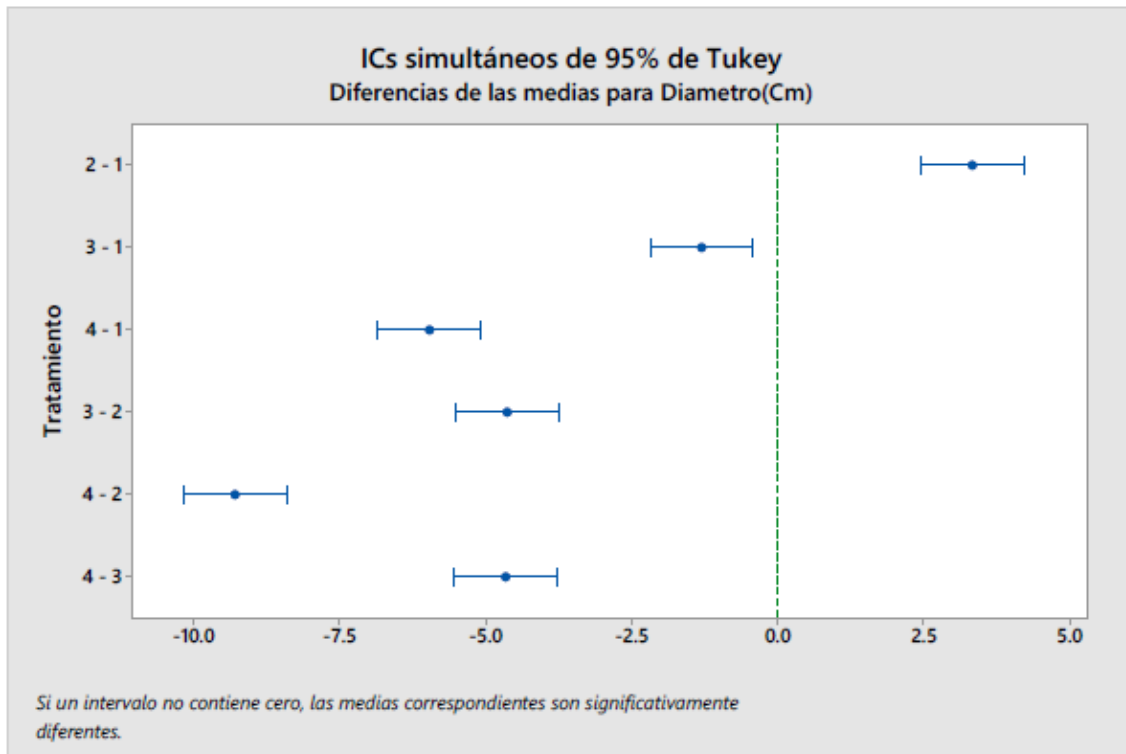
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
2	4	22.3661	A
1	4	19.0357	B
3	4	17.7321	C

4 4 13.0714 D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### ICs simultáneos de 95% de Tukey





## Rendimiento diámetro de altura (cm/planta)

### Modelo lineal general: Altura (cm) vs. Tratamiento

Método

Codificación de factores (-1; 0; +1)

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
pTratamiento	Fijo	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	42.241	14.0803	164.56	0.000
Error	12	1.027	0.0856		
Total	15	43.268			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.292516	97.63%	97.03%	95.78%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	11.2009	0.0731	153.17	0.000	
Tratamiento					
1	0.067	0.127	0.53	0.607	1.50
2	2.335	0.127	18.43	0.000	1.50
3	-0.147	0.127	-1.16	0.267	1.50

Ecuación de regresión

Altura (cm) = 11.2009 + 0.067 Tratamiento\_1 + 2.335 Tratamiento\_2 - 0.147 Tratamiento\_3 - 2.254 Tratamiento\_4

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Altura (cm)	Ajuste	Resid	Resid est.
1	12.000	11.268	0.732	2.89 R

Residuo grande R

### Comparaciones para Altura (cm)

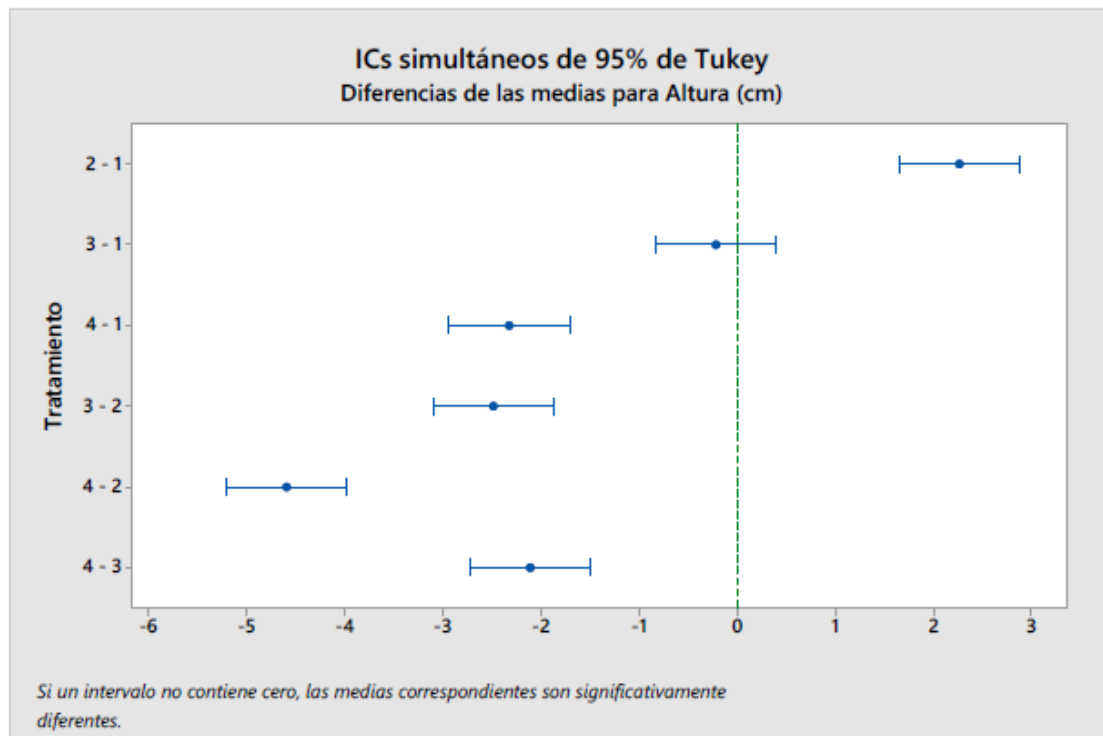
## Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Altura (cm), Término = Tratamiento

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
2	4	13.5357	A
1	4	11.2679	B
3	4	11.0536	B
4	4	8.9464	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## ICs simultáneos de 95% de Tukey



## Anexo 15: Labores culturales del cultivo de brócoli

### Fumigacion



### Abonamiento



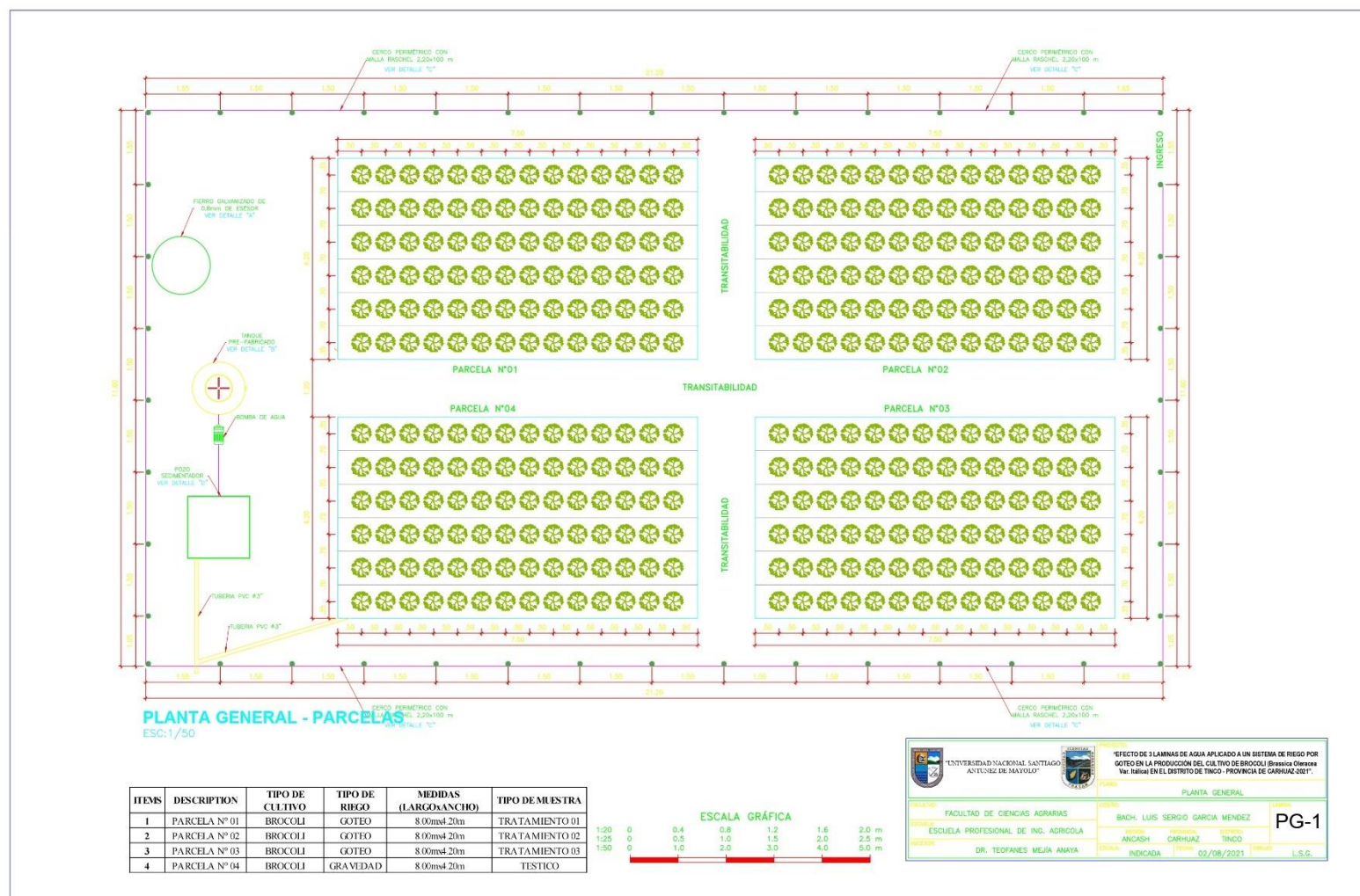


Cosecha





## Anexo 16: Plano planta general de la tesis



## Anexo 17: Plano instalación del cultivo de brócoli

