

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



**TESIS DE GRADO**  
**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CUATRO**  
**VARIETADES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *itálica*) BAJO DOS MÉTODOS**  
**DE RIEGO**

**ERNESTO VASQUEZ LEDEZMA**

**LA PAZ-BOLIVIA**

**2024**

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

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CUATRO VARIETADES DE BRÓCOLI  
(*Brassica oleracea var. itálica*) BAJO DOS MÉTODOS DE RIEGO**

*Tesis de Grado  
Presentada como requisito  
para optar al Título de Ingeniero Agrónomo*

**ERNESTO VASQUEZ LEDEZMA**

**Asesores:**

Ing. Esther Tinco Mamani .....

**Tribunal Examinador:**

Ing. Ph. D. Rene Nene Chipana Rivera .....

Ing. M. Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara .....

Ing. Willams Alex Murillo Oporto .....

**APROBADO**

**Presidente del tribunal revisor** .....

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2024**

## **DEDICATORIA**

El presente documento está dedicado a mis padres Eugenio Vasquez Torrez y Viviana Ledezma Roca, además de mis hermanos Camilo, Keila y Maya, quienes me apoyaron pese a los tropiezos que pude tener.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la casa Santa Aquilina de la comunidad Papa Juan XXIII.

A los hermanos de la comunidad y operadores de la casa de rehabilitación, que me acogieron.

A mi asesora la Ing. Esther Tinco Mamani, por su paciencia, incentivo y apoyo.

Al Ing. Estanislao Poma por su amistad y apoyo desinteresado.

A mis revisores Ph. D. Ing. Chipana Rivera Rene Nene, Ing. Murillo Oporto Williams Alex y la M. Sc. Ing. Arragan Tancara Fanny Bertha.

## CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL .....	I
ÍNDICE GENERAL .....	II
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT .....	XII

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
2.1.Objetivo general .....	2
2.2.Objetivos específicos .....	2
<b>3.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1.Origen e importancia del brócoli .....	3
3.2.Producción mundial del brócoli.....	3
3.3.Producción nacional del brócoli.....	4
3.4.Valor nutritivo del brócoli .....	4
3.5.Características taxonómicas del brócoli .....	6
3.6.Características botánicas .....	6
3.6.1.Inflorescencia .....	6
3.6.2.Tallo .....	7
3.6.3.Hojas.....	7
3.6.4.Raíz .....	7
3.6.5.Variedades .....	8
3.6.5.1.Diccico .....	8
3.6.5.2.Calabresse.....	8
3.6.5.3.BC Pirata.....	8
3.6.5.4.Avenger.....	8
3.7.Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del brócoli .....	9
3.7.1.Fertilización.....	9
3.7.2.Temperatura y humedad .....	9
3.7.3.Necesidades de riego.....	10
3.7.3.1.Necesidades de riego del cultivo de brócoli.....	10
3.7.3.2.Calidad del agua de riego.....	10

3.7.3.3.Presencia de metales pesados en el agua .....	11
3.8.El riego en Bolivia .....	12
3.9.Programación de riego .....	13
3.10.Eficiencia de riego .....	13
3.11.Productividad del agua y huella hídrica .....	13
3.12.Evapotranspiración de referencia y Kc del cultivo .....	14
3.13.Balance hídrico .....	15
3.14.Velocidad de infiltración básica .....	15
3.15.Lámina de riego .....	15
3.15.1.Lamina bruta .....	16
3.15.2.Lamina neta .....	16
3.15.3.Coeficiente de uniformidad .....	16
3.16.Método de riego por surcos .....	16
3.16.1.Tiempo de riego .....	17
3.16.2.Tiempo de avance .....	17
3.17.Método de riego localizado por goteo.....	18
3.17.1.Componentes de las instalaciones de riego localizado.....	18
3.17.1.1.Cabezal de riego .....	18
3.17.1.2.Red de distribución.....	18
3.17.1.3.Emisores .....	19
<b>4.MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
4.1.Localización .....	20
4.2.Características climáticas de la zona .....	21
4.3.Criterio de manejo de la Eto en los invernaderos .....	24
4.4.Materiales .....	26
4.4.1.Material vegetativo .....	26
4.4.2.Materiales de campo y herramientas.....	26
4.4.3.Material de laboratorio.....	26

4.4.4.Insumos .....	26
4.5.Métodos .....	27
4.5.1.Procedimiento experimental .....	27
4.5.2.Muestreo del suelo y el agua de riego .....	27
4.5.2.1.Muestra de suelo .....	27
4.5.2.2.Muestras de aguas de riego .....	27
4.5.2.3.Determinación del coeficiente de uniformidad de caudales .....	28
4.5.3.Preparación del terreno .....	29
4.5.4.Instalación de los métodos de riego .....	29
4.5.5.Manejo del cultivo .....	32
4.5.5.1.Almácigo .....	32
4.5.5.2.Trasplante .....	32
4.5.5.3.Labores culturales .....	32
4.6.Metodología experimental .....	33
4.6.1.Diseño experimental.....	33
4.6.1.1.Modelo lineal aditivo.....	33
4.6.1.2.Factores de estudio.....	34
4.6.1.3.Número de tratamientos .....	34
4.6.2.Croquis del experimento .....	35
4.7.VARIABLES DE RESPUESTA.....	36
4.7.1.Días a la cosecha desde el trasplante .....	36
4.7.2.Lámina de riego .....	37
4.7.3.Porcentaje de germinación.....	37
4.7.4.Porcentaje de prendimiento.....	37
4.7.5.Altura de planta .....	37
4.7.6.Número de hojas.....	38
4.7.7.Diámetro del tallo .....	38



4.7.8.Peso de pella .....	38
4.7.9.Diámetro de pella .....	38
4.7.10.Rendimiento .....	38
4.7.11.Costos de producción .....	39
<b>5.RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>40</b>
5.1.Análisis físico-químico del suelo .....	40
5.1.1.Características físicas del suelo .....	40
5.1.2.Características químicas del suelo .....	41
5.2.Análisis químico del agua de riego .....	42
5.3.Duración del ciclo del cultivo desde el trasplante hasta la cosecha .....	46
5.3.1.Análisis de varianza de efectos fijos en base a la duración del ciclo .....	46
5.3.2. Prueba Duncan para la duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha. ....	47
5.4.Porcentaje de germinación.....	49
5.5.Porcentaje de prendimiento .....	52
5.5.1.Análisis de varianza de efectos fijos para el porcentaje de prendimiento .....	52
5.5.2.Prueba de Duncan para el porcentaje de prendimiento .....	53
5.6.Altura de planta .....	54
5.6.1.Análisis de varianza de efectos fijos para la altura de planta a los 64 días del trasplante .....	54
5.6.2.Prueba de Duncan en base a la Altura de Planta a los 64 Días Después del Trasplante .....	56
5.7.Número de hojas .....	58
5.7.1.Análisis de varianza de efectos fijos en base al número de hojas a los 79 días del trasplante .....	58
5.7.2.Prueba de Duncan en base al número de hojas a los 79 días del trasplante...	59
5.8.Diámetro del tallo .....	61

5.8.1.Análisis de varianza de efectos fijos en base al diámetro del tallo a los 79 días del trasplante .....	61
5.8.2.Prueba de Duncan en base al diámetro de tallo a los 79 días del trasplante ...	62
5.9.Diámetro de pella .....	64
5.9.1.Análisis de varianza de efectos fijos del diámetro de pella .....	64
5.9.2.Prueba de Duncan para el diámetro de la pella.....	65
5.10.Peso de pella .....	67
5.10.1.Análisis de varianza de efectos fijos en base al peso de pella en el momento de la cosecha.....	67
5.10.2.Prueba Duncan en base al peso de pella en el momento de la Cosecha .....	68
5.11.Rendimiento .....	69
5.11.1.Análisis de varianza de efectos fijos del rendimiento .....	69
5.11.2.Prueba de Duncan para el rendimiento según las variedades .....	70
5.12.Determinación del total de lámina de agua aplicada para cada uno de los tratamientos. ....	73
5.12.1.Relación entre el total de la lámina aplicada y el rendimiento.....	75
5.13.Costos de Producción .....	78
<b>6.CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>7.RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>8.BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la investigación .....	20
Figura 2 Temperatura Promedio del Municipio de Mecapaca .....	21
Figura 3 Precipitación promedio en el municipio de Mecapaca .....	22
Figura 4 Temperaturas máximas, medias y mínimas dentro de los invernaderos de la comunidad de Santa Aquilina .....	23
Figura 5 Temperatura máxima y mínima semanal a cielo abierto y bajo condiciones de invernadero .....	24
Figura 6 Comportamiento de Eto ajustando los valores de la radiación solar a cielo abierto para el interior del invernadero .....	25
Figura 7 Laterales y emisores que se deben seleccionar para evaluar una subunidad de riego localizado .....	28
Figura 8 Descripción de la instalación del método por goteo.....	30
Figura 9 Descripción del método de riego por goteo .....	31
Figura 10 Croquis de la distribución de tratamientos.....	35
Figura 11 Ubicación de las áreas experimentales dentro de los invernaderos de la comunidad.....	36
Figura 12 Porcentaje de germinación a las 48 y 72 horas después de la siembra ...	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor Nutricional Del Brócoli por Cada 100 Gramos.....	5
Tabla 2 La clasificación taxonómica del brócoli .....	6
Tabla 3 Niveles de Aporte Nutricional .....	9
Tabla 4 Límites máximos permisibles para metales pesados .....	12
Tabla 5 Interacción de factores de estudio .....	34
Tabla 6 Análisis físico del suelo .....	40
Tabla 7 Análisis químico del suelo.....	41
Tabla 8 Análisis Químico del Agua del Río Lipari.....	43
Tabla 9 Análisis Químico del Agua del Pozo de la Comunidad .....	44
Tabla 10 Análisis de varianza de efectos fijos de la duración del ciclo.....	46
Tabla 11 Prueba de Duncan para la duración del ciclo en base al método de riego .	47
Tabla 12 Prueba de Duncan para la duración del ciclo en base a las variedades.....	48
Tabla 13 Análisis de Varianza de efectos fijos: Porcentaje de Prendimiento.....	52
Tabla 14 Prueba de Duncan: porcentaje de prendimiento sobre el método de riego	53
Tabla 15 Análisis de varianza de efectos fijos en base a la altura de planta .....	54
Tabla 16 Prueba Duncan en base a la altura de planta según el método de riego ...	56
Tabla 17 Prueba Duncan en base a la altura de planta según las variedades .....	57
Tabla 18 Análisis de varianza de efectos fijos en base al número de hojas .....	58
Tabla 19 Prueba de Duncan en base al número de hojas según el Método de Riego.....	59
Tabla 20 Prueba de Duncan en base al número de hojas según las variedades .....	60
Tabla 21 Análisis de varianza de efectos fijos en base al diámetro del tallo .....	61
Tabla 22 Prueba de Duncan en base al diámetro de tallo según el método de riego .....	62
Tabla 23 Análisis de varianza de efectos fijos del diámetro de la pella .....	64
Tabla 24 Prueba de Duncan del diámetro de pella según el método de riego .....	65
Tabla 25 Prueba de Duncan del diámetro de pella según las variedades.....	66
Tabla 26 Análisis de varianza de efectos en base al peso de pella al momento de la cosecha .....	67

Tabla 27 Prueba de Duncan en base al peso de pella sobre las variedades .....	69
Tabla 28 Análisis de varianza de efectos fijos en base al rendimiento en Kg/m <sup>2</sup> .....	70
Tabla 29 Prueba de Duncan en base al Rendimiento según el factor variedades ....	71
Tabla 30 Duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha por cada uno de los tratamientos .....	73
Tabla 31 Total de lámina aplicada según la duración del ciclo de los diferentes tratamientos .....	74
Tabla 32 Huella hídrica y productividad del agua en los tratamientos bajo riego por superficie .....	75
Tabla 33 Costos parciales de producción de variedades de brócoli bajo diferentes métodos de riego.....	78

## RESUMEN

En Bolivia el cultivo de brócoli está condicionado a diferentes factores tales como, clima, plagas y enfermedades, tecnificación agrícola, calidad de los suelos, calidad del agua de riego y su escasez entre otros, el rendimiento de los cultivos es dependiente de estos factores y ante los factores adversos de estos factores surge la necesidad de desarrollar técnicas y métodos que sean eficientes para la producción, es por eso que se presenta esta investigación donde se pretende evaluar cuatro variedades de brócoli (*brassica oleracea var. itálica*) bajo dos métodos de riego en el hogar de Santa Aquilina ubicado en la comunidad de Lipari en rio abajo, Mecapaca. El trabajo de investigación fue realizado bajo un diseño completamente al azar con arreglo de parcelas divididas, en donde se contó con 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, donde la parcela grande fue el método de riego y la parcela pequeña las variedades, las variables evaluadas fueron duración del ciclo, porcentaje de germinación, porcentaje de prendimiento, altura de planta, numero de hojas, diámetro de tallo, diámetro de pella, peso de pella, rendimiento y lamina total aplicada. En los análisis de varianza las variables de duración del ciclo porcentaje de prendimiento, altura de planta, numero de hojas, diámetro de tallo y diámetro de pella fueron significantes con respecto al método de riego, mientras que las variables de peso de pella y rendimiento fueron no significantes con respecto al método de riego, siendo el tratamiento T3 (variedad Pirata BC 1691 x riego por surcos), con un rendimiento de  $1,84\text{kg/m}^2$  el que mayor rendimiento obtuvo, mientras que el tratamiento T6 (variedad Diccico x riego por goteo), con  $0,21\text{ kg/m}^2$  es el que obtuvo el rendimiento más bajo. Con respecto al total de lámina consumida, huella hídrica y productividad del agua, el tratamiento T7

(variedad Pirata BC 1691 x riego por goteo), el más eficiente con 175,7 mm aplicados, una huella hídrica de 118,72 l/kg y una productividad del agua de 8,42 g/l, mientras que el tratamiento T1 (variedad Calabresse x riego por surcos), con 872,2 mm de lámina aplicada, huella hídrica de 2097,33 l/kg y una productividad del agua de 0,34 g/l es el tratamiento con menor eficiencia. Al final el tratamiento con mayor beneficio costo fue el tratamiento T8 (variedad Avenger x riego por goteo), con 1,29 Bs, mientras que el tratamiento T6 (variedad Diccico x riego por goteo), fue el que obtuvo el menor beneficio costo, siendo este 0,18 Bs. El efecto del método de riego si influyo en el desarrollo de las primeras etapas del crecimiento y se observó que las diferentes variedades compensaron esta falta de desarrollo alargando su ciclo, en lo que se pudo concluir que el método de riego por goteo es más eficiente en el ahorro del agua y que las variedades híbridas tienden a soportar mejor las diferentes adversidades que se presenten.

## ABSTRACT

In Bolivia, the crop of broccoli is conditioned to different factors such as climate, pests and diseases, agricultural technology, soil quality, quality of irrigation water and its scarcity among others, the yield of the crops is dependent on these factors and Given the adverse need arises to develop techniques and methods efficient for production, which is why this research is presented where it is intended to evaluate four varieties of broccoli (*brassica oleracea* var. *italica*) under two irrigation methods. in the home of Santa Aquilina located in the community of Lipari in downstream, Mecapaca. The research work was carried out under a completely randomized design with an arrangement of divided plots, where there were 8 treatments with 3 repetitions each, where the large plot was the irrigation method and the small plot was the varieties, the variables evaluated were the cycle time, percentage of germination, survival percentage, plant height, number of leaves, stem diameter, floral bud diameter, floral bud weight, yield and total sheet applied. In the analysis of variance, the variables cycle time, survival percentage, plant height, number of leaves, stem diameter and floral bud diameter were significant with respect to the irrigation method, while the variables of, floral bud weight and yield were non-significant with respect to the irrigation method. Regarding the irrigation method, treatment T3 (Pirata variety BC 1691 x furrow irrigation), with a yield of 1,84kg/m<sup>2</sup> was the one with the highest yield, while treatment T6 (Diccico variety x drip irrigation), with 0,21 kg/m<sup>2</sup> was the one with the lowest yield. With respect to the total sheet consumed, water footprint and water productivity, the T7 (Pirata variety BC 1691 x drip irrigation), treatment was the most efficient with 175.7 mm applied, a water footprint of 118,72 l/kg and a water productivity of 8,42 g/l, while



treatment T1 (Calabresse variety x furrow irrigation), with 872,2 mm of applied sheet, water footprint of 2097,33 l/kg and a water productivity of 0,34 g/l is the treatment with the lowest efficiency. In the end, the treatment with the highest cost benefit was treatment T8 (Avenger variety x drip irrigation), with 1,29 Bs, while treatment T6 (Diccico variety x drip irrigation), was the one that obtained the lowest cost benefit, this being 0,18 Bs. The effect of the irrigation method did influence the development of the first stages of growth and it was observed that the different varieties compensated for this lack of development by lengthening their cycle, from which it was possible to conclude that the drip irrigation method is more efficient in saving water and that hybrid varieties tend to better endure the different adversities that arise.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en nuestro país es afectada por variados factores como ser: los cambios climáticos, la fertilidad e infertilidad de los suelos, la poca disponibilidad de agua de riego, los ciclos de plagas, entre otros, algunos de estos no pueden ser controlados de manera unánime y solo se cuenta con el ingenio para compensar las carencias de cualquiera de estas adversidades. Sin embargo, una alternativa para incrementar los ingresos de la población rural es el de apoyar con la implementación de nuevas tecnologías de producción que se orienten en satisfacer las demandas de la población en general, por lo que se refiere a la producción de hortalizas en este caso el brócoli de consumo diario, bajo técnicas que sean de fácil incorporación en la vida cotidiana del sector rural y les conlleve una inversión satisfactoria no solo a corto si no a largo plazo.

El incremento significativo de su producción a nivel mundial se ha realizado recién en los últimos años, en base al conocimiento de su calidad nutritiva y organoléptica. El brócoli es considerado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso y supuestamente posee la cualidad de prevenir enfermedades, entre las que se incluiría el cáncer (Toledo, 2003). Para el cultivo de brócoli el riego tecnificado es una opción viable si consideramos los beneficios en cuanto al uso del recurso hídrico, a su vez el implementarlo conlleva cierta inversión que podría o no ser riesgosa dependiendo de factores como la capacitación y mantenimiento. En contraposición se encuentran los métodos más tradicionales ya conocidos por superficie, que son fáciles y baratos de implementar, pero que conllevan problemas a largo plazo. Todo esto en medida de la producción de hortalizas, siendo el caso a puntualizar el de la producción de brócoli.

Bajo este contexto el objetivo de esta investigación es el de evaluar la producción de diferentes variedades de brócoli bajo diferentes condiciones de riego en medida del contexto de la ubicación del trabajo realizado, para así poder dar una pauta de la implementación de este cultivo. La producción de brócoli para la seguridad alimentaria es circunstancial en el altiplano de nuestro país, la evaluación constante de las tecnologías que implican la implementación del cultivo de brócoli nos dará las bases para definir el método de producción más óptimo para las diferentes necesidades de nuestra población productora, señalará los beneficios y carencias que tenga cada uno de los factores en estudio. Por lo que se plantea el siguiente trabajo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Evaluar el rendimiento del cultivo en base al comportamiento agronómico de las cuatro variedades de brócoli, bajo los dos métodos de riego, por goteo y por surcos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estimar la duración del ciclo de las variedades bajo los dos diferentes sistemas de riego.
- Evaluar las características agronómicas de las variedades bajo dos métodos de riego.
- Determinar el sistema de riego apropiado para el cultivo de brócoli.
- Evaluar los costos parciales de producción.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Origen e importancia del brócoli**

El cultivo y consumo del brócoli data de la época del imperio romano. El incremento significativo de su producción a nivel mundial se ha realizado recién durante los últimos años, en base al conocimiento de su calidad nutritiva y organoléptica. Este aumento de la preferencia por el brócoli coincide con la tendencia general observada en los principales mercados mundiales hacia el consumo de hortalizas (Toledo, 2003).

Maroto (2002), nos dice “Su origen parece ser que está ubicado en el mediterráneo oriental y concretamente en próximo oriente (Asia menor, Líbano, Siria, etc.)”.

A su vez Martínez et al (2008) menciona que “El origen del cultivo del brócoli se sitúa en los países con clima templado del Mediterráneo Oriental y Oriente Próximo (Asia Menor, Líbano, Siria, etc.) hace aproximadamente 2500 años.

#### **3.2. Producción mundial del brócoli**

Mamani (2014) expresa en su trabajo que, en el contexto internacional, el cultivo de este vegetal aumento rápidamente, México es uno de los principales países exportadores de hortalizas frescas y congeladas hacia EE.UU. el excedente de demanda de esta hortaliza que reporta Norte América, Europa y Asia es una oportunidad de mercado.

Según la información proporcionada por la FAOSTAT (2023), los 5 principales productores de brócoli en el mundo son China, India, Estados Unidos, España y México.

### **3.3. Producción nacional del brócoli**

La baja demanda del brócoli incide en el estancamiento de su producción en las parcelas de los valles cruceños. “396 toneladas, que equivalen a 80.000 unidades, es la producción anual de brócoli en el departamento, que se han mantenido durante el 2015 y 2016”, explica Donato Montaña, responsable agrícola del servicio departamental agropecuario de Santa Cruz (Sedacruz), (El DEBER-RURAL, 2017).

Por otro lado, el Censo Agropecuario realizado el 2013, nos enseña que la producción de brócoli en la campaña de invierno de 2012 y verano de 2012-2013 fue de 1761,8 toneladas métricas, producidas en una superficie de 160,9 hectáreas. (Instituto Nacional de Estadística Bolivia, 2015).

### **3.4. Valor nutritivo del brócoli**

Por otro lado, Rodríguez & Rojas, (2022), nos dicen que “Los beneficios evidenciados del brócoli son una disminución de los desórdenes metabólicos relacionados a la obesidad, un menor riesgo de cáncer y enfermedades degenerativas que se podría establecer por su contenido de potasio, calcio, vitamina C, fibra soluble y sus compuestos bioactivos desatacando los ácidos fenólicos, isotiocianatos, flavonoides y glucosinolato”.

Además, la revista La Vanguardia (2022), nos dice que “pertenece a la familia de las crucíferas y es muy rica en vitaminas y en minerales, y un auténtico tesoro nutritivo que brinda múltiples bondades a nuestro organismo. Una ración de 200 gramos de brócoli cubre sobradamente las necesidades diarias de vitamina C que un adulto necesita,

además de aportarnos ácido fólico y vitamina A. Por todo ello, la OMS recomienda su consumo”.

### **Tabla 1**

#### *Valor Nutricional Del Brócoli por Cada 100 Gramos*

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad por cada 100 g</b>
Calorías	38 cal
Proteínas	4,4 g
Grasa	0,9 g
Carbohidratos	1,8 g
Fibra	2,6 g
Calcio	56 mg
Hierro	1,7 mg
Magnesio	22 mg
Zinc	0,6 mg
Sodio	8 mg
Potasio	370 mg
Fósforo	87 mg
Vitamina C	87 mg
Vitamina E	1,3 mg

Fuente: La Vanguardia (2022).

Del brócoli se consume principalmente la inflorescencia modificada, la tabla 1 nos muestra el valor nutritivo por cada 100 gramos de pella de brócoli consumido.

### 3.5. Características taxonómicas del brócoli

**Tabla 2**

*La clasificación taxonómica del brócoli*

<b>BRÓCOLI</b>	
Reino	Plantae
División	Magnoleophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caprales
Familia	Brassicaceae
Género	Brassica
Especie	Brassica oleraceae-Italica
Nombre Vulgar	Brócoli

Fuente: Rueda (2015).

### 3.6. Características botánicas

#### 3.6.1. Inflorescencia

La inflorescencia del tipo pella es un corimbo conformado por numerosas flores, las que en estado inmaduro constituyen la parte comestible de esta hortaliza. En nuestro medio, a la pella se le conoce como “cabeza” y se denominan florete al conjunto de

flores individuales que se insertan mediante un pedúnculo común al tallo principal de la inflorescencia. Un corimbo está formado por varios floretes (Toledo, 2003).

### **3.6.2. Tallo**

La planta del brócoli es de naturaleza herbácea, con un tallo principal de cuyo diámetro varía entre 2 y 6 cm y 20-50 cm de longitud. Este tallo principal presenta entre nudos cortos con un hábito de desarrollo intermedio entre roseta (coliflor) y caulinar (col de Bruselas). La parte superior del tallo es limitada por el desarrollo de la inflorescencia principal (Toledo, 2003).

### **3.6.3. Hojas**

Las hojas son más estrechas y más erguidas, con peciolo generalmente desnudos, limbos normalmente con los bordes más ondulados; así como nervaduras más marcadas y blancas (Rojas, 2017).

### **3.6.4. Raíz**

El sistema radicular de esta hortaliza es pivotante y leñoso. La raíz primaria puede profundizar hasta 0,8 m en el perfil del suelo y generalmente se pierde durante el proceso de extracción de plantas del almácigo. El sistema radicular del brócoli trasplantado en campo definitivo está principalmente conformado por raíces adventicias secundarias, terciarias y raicillas, las que se concentran en su mayor parte en los primeros 0,4-0,6 m de profundidad (Toledo, 2003).



### **3.6.5. Variedades**

#### **3.6.5.1. Diccico**

Planta compacta que produce cabezas medianas de unos 10 a 12 centímetros de diámetro, de un color verde oscuro, produce muchas cabezas laterales (Copari, 2015).

#### **3.6.5.2. Calabresse**

Sobre esta variedad Copari (2015) nos dice que es “De ciclo precoz, se desarrolla bien climas templados de 18 a 24 °C”.

#### **3.6.5.3. BC Pirata**

Según la descripción de producto proporcionada por la página web de BAYER (2021), la variedad BC1691 (Pirata) tiene buena tolerancia a las condiciones de calor, muy buena calidad, tamaño y uniformidad de pella, maduración alrededor de los 65 días desde el trasplante, de tallos gruesos.

#### **3.6.5.4. Avenger**

Es el Híbrido líder en el mercado por su amplia adaptación y consistentes rendimientos, Avenger es el brócoli que ha marcado el referente tanto para la industria del congelado como para el mercado fresco. Avenger es de planta vigorosa, cabezas bien domadas, con grano fino y gran peso. Su uniformidad de cabezas le da un beneficio en el empaque en caja para fresco y un buen aprovechamiento de floretes para el proceso, mayor productividad y versatilidad para industria y mercado fresco (Zenteno, 2020).

### 3.7. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del brócoli

#### 3.7.1. Fertilización

Dependiendo del tipo de suelo, el cultivo de brócoli puede llegar a requerir por hectárea la fórmula 220-40-00 de fertilizante o más. Por ejemplo, para la región del Bajío se recomienda la fórmula 400-150-100 de N-P-K (Zamora, 2016).

Chilon (1997), indica que las plantas requieren para su buen desarrollo alrededor de 16 elementos (nutricionales), estos provienen del agua y el aire (C, H y O) y los restantes deben estar en el suelo a una cierta concentración para que no manifiesten síntomas por deficiencia o exceso. Asegurando la existencia de estos a una concentración adecuada se espera un mejor desarrollo y rendimiento del cultivo.

**Tabla 3**

*Niveles de Aporte Nutricional*

Valoración	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (meq/100g S)
Bajo	<2	<0,1	0-6	<0,32
Medio	2-4	0,1-0,2	7-14	0,32-0,64
Alto	>4	>0,2	>14	>0,64

Fuente: Chilon, E. (1997). Manual de Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas.

#### 3.7.2. Temperatura y humedad

El brócoli se adapta mejor a temperaturas promedio de 16 °C (60 °F). El rango óptimo está entre 15 y 25 °C (59 y 77 °F). También, soporta temperaturas bajas hasta de -2 °C siempre y cuando no se haya formado aún la inflorescencia. La semilla germina en 7 días a temperaturas entre 7 y 35 °C (45 a 95 °F).

Como el sistema radical del brócoli no profundiza más de 30 cm, sobre todo cuando se realiza el trasplante, los riegos deberán ser ligeros y frecuentes, de tal forma que el cultivo disponga siempre de humedad. Se deben de evitar desbalances de humedad debido a que pueden ocasionar maduración prematura de las cabezas. El brócoli pudiera requerir una lámina total de agua de aproximadamente 50 cm durante la temporada otoño-invierno alcanzando el más alto requerimiento hídrico a partir del inicio de formación de la cabeza o pella, así como durante su desarrollo (Zamora, 2016).

### **3.7.3. Necesidades de riego**

#### **3.7.3.1. Necesidades de riego del cultivo de brócoli**

Como el sistema radical del brócoli no profundiza más de 30 cm, sobre todo cuando se realiza el trasplante, los riegos deberán ser ligeros y frecuentes, de tal forma que el cultivo disponga siempre de humedad. Se deben de evitar desbalances de humedad debido a que pueden ocasionar maduración prematura de las cabezas. El brócoli pudiera requerir una lámina total de agua de aproximadamente 50 cm durante la temporada otoño-invierno alcanzando el más alto requerimiento hídrico a partir del inicio de formación de la cabeza o pella, así como durante su desarrollo (Zamora, 2016).

#### **3.7.3.2. Calidad del agua de riego**

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la

perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. (Libro blanco del agua en España, 2000).

Sobre la calidad del agua de riego García (2012), nos dice “Los problemas más comunes resultantes del uso del agua para riego se relacionan con salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, combinaciones de los anteriores y efectos causados por sólidos en suspensión, metales pesados, corrosividad, etc”.

Swistock (2021), ofrece un resumen de parámetros de calidad del agua de riego, estos parámetros están presentados en el anexo 5.

### **3.7.3.3. Presencia de metales pesados en el agua**

Por otro lado, Prieto et al (2009), nos dice sobre los metales pesados que; “Los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos”.

Los altos niveles de concentración de metales pesados en agua utilizada para riego representan un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad (Mancilla et al., 2015).

En la tabla 4 se pueden observar los límites máximos permisibles para el agua de riego y aguas naturales.

**Tabla 4**

*Límites máximos permisibles para metales pesados*

<b>Parámetro (mg/L)</b>	<b>Aguas Naturales</b>	<b>Riego Agrícola</b>
Arsénico	0,05	0,1
Cadmio	0,01	0,01
Mercurio	0,002	-
Plomo	0,0015	5

Fuente: Adaptado de Mancilla et.al (2015). Metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxacacuesco-Armeria. *Revista de análisis cuantitativo y estadístico*, II (3), 238.

### **3.8. El riego en Bolivia**

Al año 2012 se cuenta con un registro de 5.669 sistemas de riego en el país, que riegan más de 303 000 hectáreas y son utilizados por más de 283 000 familias de agricultores, en las zonas secas de 215 municipios que se encuentran dentro de siete departamentos del país (Chuquisaca, Cochabamba, La Paz, Oruro, Potosí, Santa Cruz y Tarija). No se registraron sistemas de riego en Beni y Pando debido a que se encuentran en regiones de mayor pluviosidad, con una muy pequeña producción de hortalizas bajo riego (MMAyA, 2012).

### **3.9. Programación de riego**

Fernandez (2010) nos dice que “Con la programación de riegos se pretende establecer el momento más oportuno para regar y determinar la cantidad de agua a aplicar. De esta manera se aprovechará el agua de la forma más eficientemente posible utilizando al máximo el potencial de la instalación de riego con objeto de conseguir ciertos propósitos como maximizar la producción o mejorar la calidad del cultivo”.

Por otro lado, Uribe y Maldonado (2000), nos dicen que “programar el riego en cualquier cultivo y con cualquier método de riego significa estimar anticipadamente la frecuencia con que se debe regar y el tiempo que debe permanecer el agua escurriendo para mojar hasta la profundidad de raíces. Los distintos sistemas de riego, gravitacionales, aspersion y localizados de alta frecuencia precisan criterios de programación que pueden ser similares en algunas etapas y diferentes en otras”.

### **3.10. Eficiencia de riego**

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. El valor de la eficiencia se verá afectada por la superficie de la parcela, para lo cual tendrá una relación de proporcionalidad (Nuñez y Hurtado, 2015).

### **3.11. Productividad del agua y huella hídrica**

Al respecto Luna (2023), nos dice que “La productividad del agua es la relación entre la cantidad de alimento producido con respecto al agua utilizada. Desde un punto de

vista agrícola, se llama eficiencia en el uso del agua ya que se determina la capacidad que tiene una planta de producir una cosecha por cada unidad de agua consumida”, mientras que “La Huella Hídrica es el volumen de agua utilizada en la producción del cultivo durante su desarrollo tomando en cuenta la cantidad de agua que se utiliza para producir un kilogramo del producto cosechado”.

### **3.12. Evapotranspiración de referencia y $K_c$ del cultivo**

La FAO, (1990) nos define que la evapotranspiración de referencia es “La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina  $E_{To}$ . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas”.

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único  $K_c$  incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo (FAO, 1990).

Sobre el  $K_c$  la página web Info Agrónomo (2018), nos dice que “Se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas”.

### **3.13. Balance hídrico**

Representan la situación hídrica media o normal de una región, pudiendo utilizarse para la comparación de la disponibilidad hídrica entre distintas regiones o la delimitación de regiones según su aptitud productiva (agrícolas, ganaderas, forestales), (Martinez & Garbi, 2020).

### **3.14. Velocidad de infiltración básica**

Es importante saber cuál es la velocidad de infiltración básica para construir un sistema de riego eficaz. Cuando la cantidad de agua de riego excede la velocidad de infiltración, puede haber escurrimiento, lo que causa una distribución desigual del agua y, posiblemente, erosión (Castellanos et al, 2013).

Inicialmente, al aplicar agua, el valor de infiltración es alto y, a medida que se incrementa el contenido de agua en el suelo, disminuye paulatinamente hasta llegar a un valor constante denominado velocidad de infiltración básica. Ésta es definida por el SCS del Departamento de Agricultura de los EUA, “como la velocidad de la infiltración del agua en el suelo, en el momento en que la variación de ésta con respecto al tiempo, es muy lenta y constante” (Delgadillo & Perez, 2016).

### **3.15. Lámina de riego**

Se denomina lámina de agua al requerimiento hídrico que necesita cada cultivo con el objetivo de abastecer con el agua necesaria optimizando a la vez el recurso hídrico para determinar se necesita la lámina bruta el intervalo de riego (Gavilanez & Farias, 2019).



### **3.15.1. Lamina bruta**

La lámina bruta ( $L_b$ ) es el suministro de agua, la cual incluye las necesidades hídricas del cultivo requerido por el cultivo, ya que toda el agua se suele perder por escorrentía, evaporación, arrastre del viento, entre otros. Básicamente se describe a la lámina bruta como la lámina neta afectada por la eficiencia de riego y a su vez tomando en cuenta la frecuencia de riego (Esmeralda & Chila, 2021).

### **3.15.2. Lamina neta**

Fernandez (2010) nos dice que “Si se considera un sistema de riego bien diseñado en el que no existe escorrentía,  $S=0$ . Además, suponiendo que la filtración profunda sea nula,  $F_p=0$ . De esta forma, la cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de aportar con el riego o Necesidades netas de riego ( $N_n$ ) corresponderán a la diferencia entre la cantidad de agua que el conjunto suelo-planta pierde, la evapotranspiración (ET), y el agua que se aporta de forma natural, la lluvia (LL)”.

### **3.15.3. Coeficiente de uniformidad**

El coeficiente de uniformidad sirve para determinar a través de valores establecidos el flujo de efectividad de riego en un cultivo. Para ello se han establecido parámetros que te indicarán el estado, y cuando los resultados arrojan un coeficiente de uniformidad que supere los 90%, indica que es excelente (RKD PIVOT, 2021).

## **3.16. Método de riego por surcos**

Según el libro técnicas de riego de Fuentes y García (1999), el riego por superficie es un sistema de riego en donde el agua fluye debido a la fuerza de gravedad, utilizándose

la superficie del suelo agrícola como parte del sistema de distribución de agua. El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo. Para que la lámina de agua infiltrada se distribuya lo más uniformemente posible a lo largo de la parcela es preciso diseñar y manejar el riego de tal forma que haya un equilibrio entre los procesos de avance e infiltración de agua.

Por su parte Demin (2014) nos habla del riego por surcos y dice, en este tipo de riego el agua avanza por pequeños canales o surcos, de un sitio más alto a otro más bajo, es decir desde la cabecera hasta el pie. El agua puede en algunos casos avanzar entre sitios de igual altura, esto se produce gracias a la altura del agua en la cabecera de la melga o surco.

#### **3.16.1. Tiempo de riego**

El tiempo de riego permite establecer durante cuánto tiempo debo regar, procurando optimizar el uso del agua para maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas. El tiempo de riego depende de las características de la planta y medio ambientales, de las propiedades hidráulicas del suelo, método de riego, capacidad de retención de agua del suelo y condicionado por el caudal que se aplica en la entrada del sistema (Lagos et.al, s.f).

#### **3.16.2. Tiempo de avance**

En simples términos, se denomina tiempo de avance al tiempo en que se debe de aplicar el caudal máximo no erosivo correspondiente a la primera etapa, y es el tiempo necesario para que el caudal máximo no erosivo llegue al final del surco (Acuña, 2014).

### **3.17. Método de riego localizado por goteo**

El libro de técnicas de riego de Fuentes y García (1999) nos da una pauta de las ventajas e inconvenientes del riego localizado diciendo. El riego localizado ofrece una serie de ventajas e inconvenientes que es preciso conocer y evaluar para tomar una decisión razonable al momento de elegir o no su implantación.

El riego por goteo es un tipo de riego localizado que consiste en suministrar el agua en forma de gotas que acceden a la zona radicular de cada planta, a través de unos pequeños goteros (Valdivielso, 2024).

#### **3.17.1. Componentes de las instalaciones de riego localizado**

##### **3.17.1.1. Cabezal de riego**

El cabezal de riego es un conjunto de equipos que tiene la finalidad de filtrar, tratar, medir y suministrar agua a la red de distribución del sistema de riego. El mantenimiento del cabezal de riego es necesario para que la duración de sus componentes sea la máxima posible y para que la uniformidad del agua aplicada no disminuya con el paso del tiempo, es decir, el mantenimiento es anticiparse a fallas del sistema y evitar reducciones en la eficiencia del equipo. Un programa de mantenimiento tiene el objetivo de erradicar sorpresas desagradables, alcanzar la optimización del sistema y evitar pérdidas de producción (INTAGRI S.C, 2001).

##### **3.17.1.2. Red de distribución**

la red de distribución está formada por las tuberías, que llevan el agua filtrada y tratada desde el cabezal, y los elementos singulares o piezas para adaptar la red de tuberías

a la forma o configuración de la parcela a regar, por ejemplo, juntas y otros accesorios (Fernandez et.al, 1999).

### **3.17.1.3. Emisores**

Son los elementos que producen y controlan la salida de agua desde los laterales. Lo más usual es que los emisores estén situados a cierta distancia unos de otros, por lo que la salida del agua se produce de manera discreta a lo largo del lateral de riego formando bulbos húmedos, sin embargo, el agua también puede aplicarse de forma continúa creándose una banda humedecida en el suelo. (Fernandez et.al, 1999).

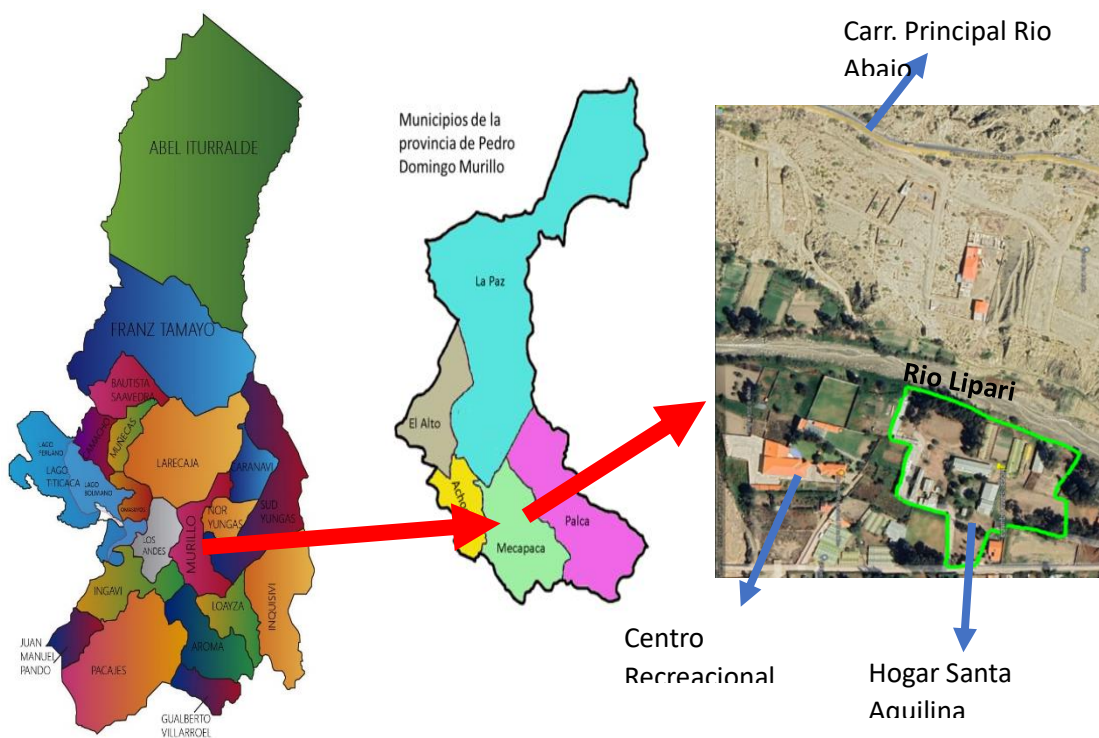
## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización

El estudio se llevó a cabo en los invernaderos de la casa hogar Santa Aquilina de la comunidad Papa Juan XXIII de la localidad de Lipari en el municipio de Mecapaca, La Paz. Bajo Lipari está situada al noroeste de Huajchilla y se encuentra a una distancia de 16 km de la ciudad de La Paz, geográficamente se ubica a 16°37'00" latitud Sur y a 64°04'00" longitud Oeste sobre una altura de 3041 msnm.

**Figura 1**

*Ubicación de la investigación*



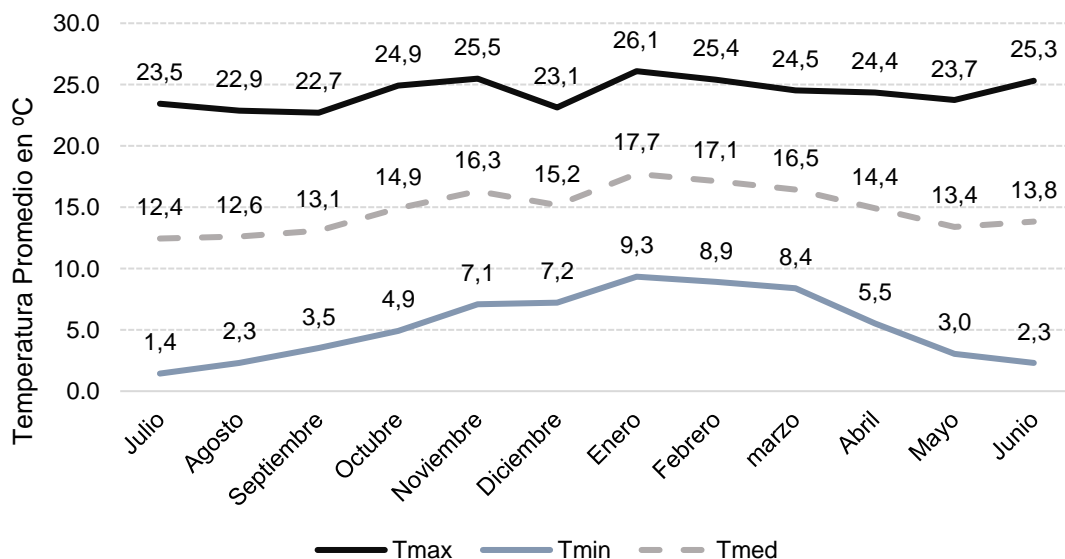
Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Características climáticas de la zona

La figura 2 muestra los datos del registro histórico de temperatura máxima y mínima de acuerdo a la base de datos del SisMet (Sistema de Procesamiento de Datos Meteorológicos) del SENAMHI Servicio Nacional de meteorología (2024). En ella podemos observar que las temperaturas máximas promedio alcanzan temperaturas en su pico más alto de 26,1 °C en el mes de enero y el más bajo es de 22,7 °C en el mes de septiembre. Por otra parte, las temperaturas mínimas alcanzan en su pico más alto temperaturas de 9,3 °C en el mes de enero y de 1,4 °C en el mes de julio. Por último, la temperatura media alcanza oscila entre los 17,7 °C en el mes de enero y los 12,4 °C en julio en la zona del municipio de Mecapaca.

**Figura 2.**

*Temperatura Promedio del Municipio de Mecapaca*



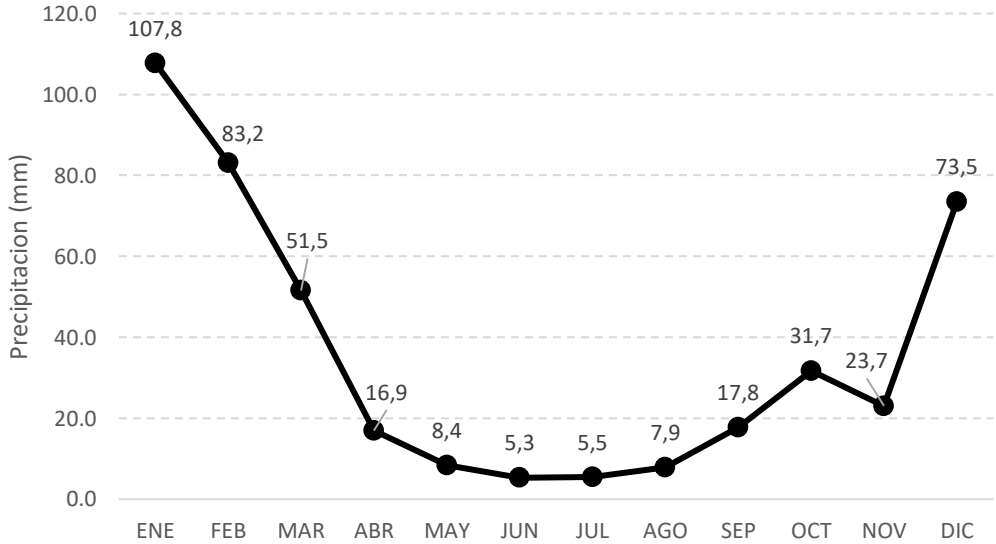
Fuente: Base de datos del SisMet (Sistema de Procesamiento de Datos Meteorológicos) del SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología (2024).

En la figura 3 se puede observar el promedio de la precipitación en el municipio de Mecapaca de acuerdo con el registro histórico obtenido de la base de datos del SisMet (Sistema de Procesamiento de Datos Meteorológicos) del SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología, (2024).

Se puede observar que la mayor cantidad de precipitación en promedio se alcanza en el mes de enero, siendo esta de 107,8 mm de lluvia promedio en este mes, y el pico más bajo se encuentra en el mes de junio, con precipitación promedio de 5,3 mm.

**Figura 3**

*Precipitación promedio en el municipio de Mecapaca*

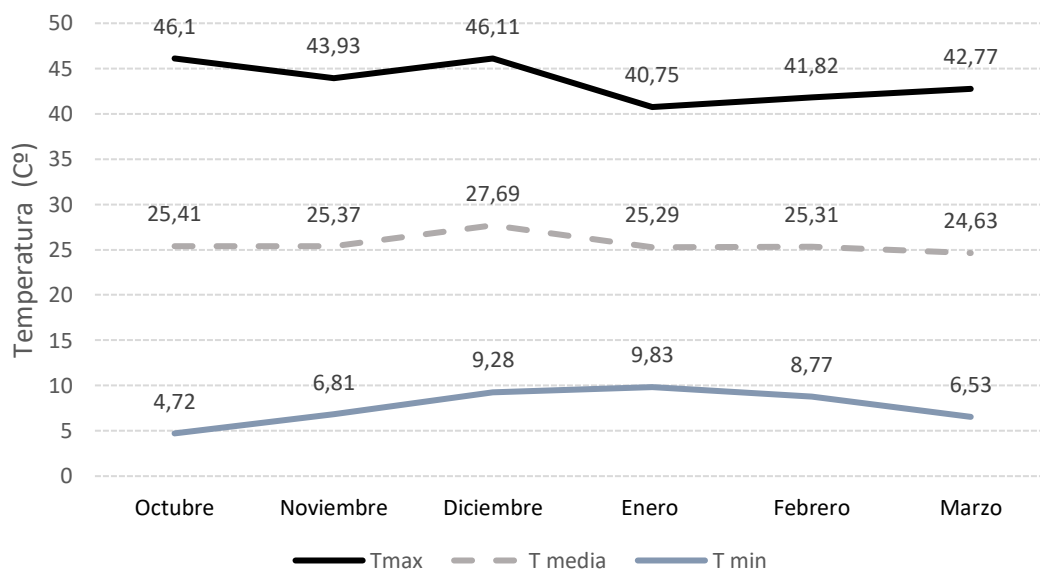


Fuente: Base de datos del SisMet (Sistema de Procesamiento de Datos Meteorológicos) del SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología (2024).

En la figura 4 podemos observar los datos recopilados por Figueredo (2021), en la cual se observa las fluctuaciones de temperatura comprendidas entre el mes de octubre de 2020 y marzo de 2021, la cual nos indica que la temperatura máxima oscilo entre los 46,1 °C en octubre y diciembre y los 40,82 °C en enero al interior de las carpas, mientras que se registraron mínimas de entre 4,72 °C en octubre y 9,83 °C en enero al interior de las carpas ubicadas en el hogar Santa Aquilina perteneciente a la comunidad Papa Juan XXIII de la comunidad de bajo lipari en el municipio de Mecapaca.

**Figura 4**

*Temperaturas máximas, medias y mínimas dentro de los invernaderos de la comunidad de Santa Aquilina*



Fuente: Adaptado de Figueredo (2021), Comportamiento agronómico de tres variedades del cultivo del pimentón (*capsicum annuum L.*) bajo condiciones de invernadero y a campo abierto, Lipari-La Paz. 39. La Paz, Mecapaca, Bolivia.



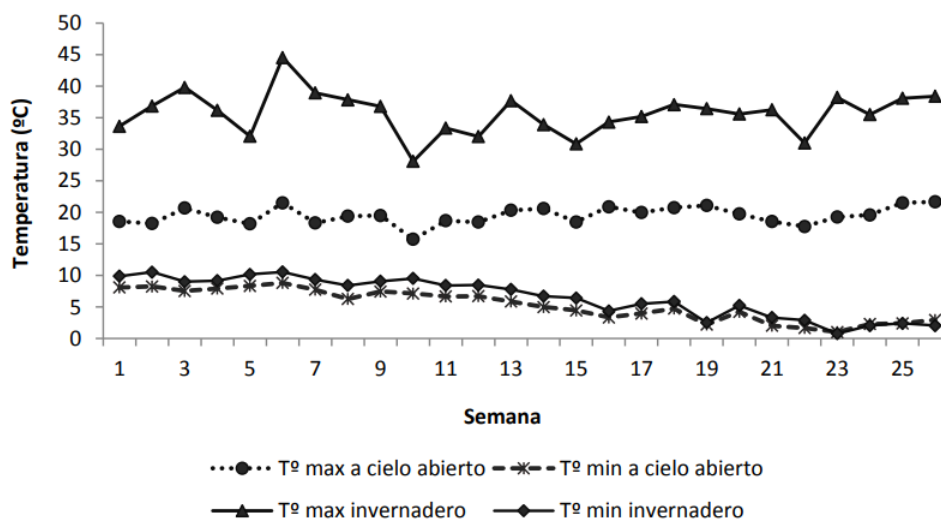
### 4.3. Criterio de manejo de la Eto en los invernaderos

A raíz de la falta de instrumentos para la medición de variables climáticas se tomó el siguiente criterio. Para la determinación de la evapotranspiración de referencia dentro de los invernaderos se tomó en cuenta el trabajo de Butron (2017), su investigación fue realizada en los invernaderos del Centro experimental de Cota cota de la Facultad de Agronomía (UMSA).

En la figura 5 podemos observar los datos de temperatura obtenidos por Butrón (2017) dentro y fuera de los invernaderos, oscilando la temperatura máxima dentro de los invernaderos de entre los 45 °C y 25 °C, mientras que la temperatura mínima oscila entre los 0 °C y los 10 °C, durante los meses comprendidos entre febrero y Julio del 2017.

**Figura 5**

*Temperatura máxima y mínima semanal a cielo abierto y bajo condiciones de invernadero*

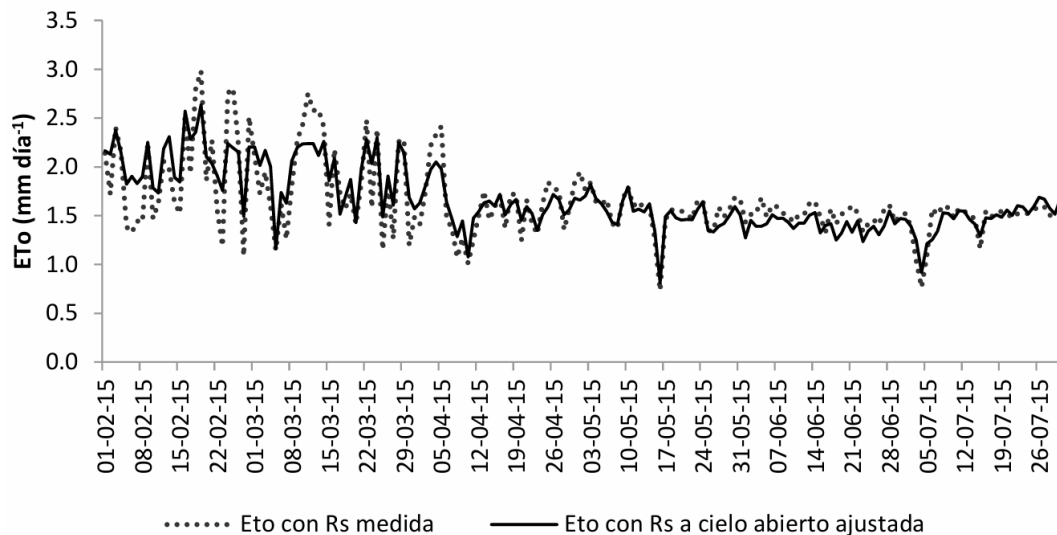


Fuente: Adaptado de Butrón (2017), Calibración de la ecuación de la FAO penman-monteith para calcular la evapotranspiración de referencia (Eto) en condiciones de invernadero en el Centro Experimental de Cota Cota. P.35.

El trabajo de Butrón (2017), consistió en realizar la calibración de la ecuación de la FAO Penman-Monteith para condiciones dentro de los invernaderos y comparar el valor de la evapotranspiración obtenida con información climática de dentro de los invernaderos con la obtenida utilizando la ecuación de Hergreaves para el cálculo de la radiación solar.

### Figura 6

*Comportamiento de Eto ajustando los valores de la radiación solar a cielo abierto para el interior del invernadero.*



Fuente: Adaptado de Butrón (2017), Calibración de la ecuación de la FAO penman-monteith para calcular la evapotranspiración de referencia (Eto) en condiciones de invernadero en el Centro Experimental de Cota cota. P.63.

La figura 6 nos muestra que la evapotranspiración de referencia calculada con los datos de la estación dentro de los invernaderos oscila entre 2 mm/día y la calculada con el ajuste de la radiación en la ecuación de Hargreaves oscila también entre 2 mm/día, teniendo en cuenta la similitud en temperaturas máximas y mínimas dentro

de los invernaderos de Cota cota y los invernaderos de la comunidad Papa Juan XIII se optó por tomar el valor de 2 mm/día como Eto para el trabajo realizado.

#### **4.4. Materiales**

##### **4.4.1. Material vegetativo**

Las variedades de semilla de brócoli seleccionadas para el experimento fueron Calabresse, Diccico, Pirata Híbrido BC 1692 y el Híbrido Avenger.

##### **4.4.2. Materiales de campo y herramientas**

Taladro, llave Stilson, letreros de identificación de tratamientos (24 unidades) y de muestreo (96 unidades), estacas, hilo de cáñamo, fichas de muestreo.

##### **4.4.3. Material de laboratorio**

Una balanza analítica de capacidad de dos kilos, un análisis fisicoquímico de suelos, dos análisis químicos de aguas.

##### **4.4.4. Insumos**

Para la instalación de los métodos de riego se usaron los siguientes materiales: 10 m de tubería de  $\frac{1}{2}$  plg, 4 m de tubería de 1 plg, 7 válvulas para goteo, 105 m de cinta de goteo de 30cm de espaciamiento entre goteros, filtro de anillas de  $\frac{3}{4}$  de plg, 2 reducciones de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  de plg, 2 Tes de  $\frac{1}{2}$ , 2 tapones de  $\frac{3}{4}$  y uno de 1 plg , 3 uniones universales de  $\frac{1}{2}$ , 4 acoples de  $\frac{1}{2}$ , 4 niples de  $\frac{1}{2}$  plg, 6 codos de  $\frac{1}{2}$ , 3 llaves de paso de  $\frac{1}{2}$  plg, abono de caballo, motobomba de 5 Hps.

## **4.5. Métodos**

### **4.5.1. Procedimiento experimental**

### **4.5.2. Muestreo del suelo y el agua de riego**

#### **4.5.2.1. Muestra de suelo**

La muestra de suelo para el análisis físico-químico se obtuvo antes del trasplante de los plantines de brócoli realizado en las zonas designadas para los métodos de riego. Se procedió con el muestreo recolectando pequeñas muestras dentro de un balde aplicando la técnica del zigzag, seguidamente se procedió a cernir el suelo para evitar la presencia de grava en la muestra, obteniendo una muestra final con un peso de 1 kg de suelo, la muestra fue analizada en el laboratorio de la facultad de agronomía de suelos y aguas (LAFASA), los resultados del análisis de laboratorio del análisis físico-químico de la muestra se observan en el anexo 5.

#### **4.5.2.2. Muestras de aguas de riego**

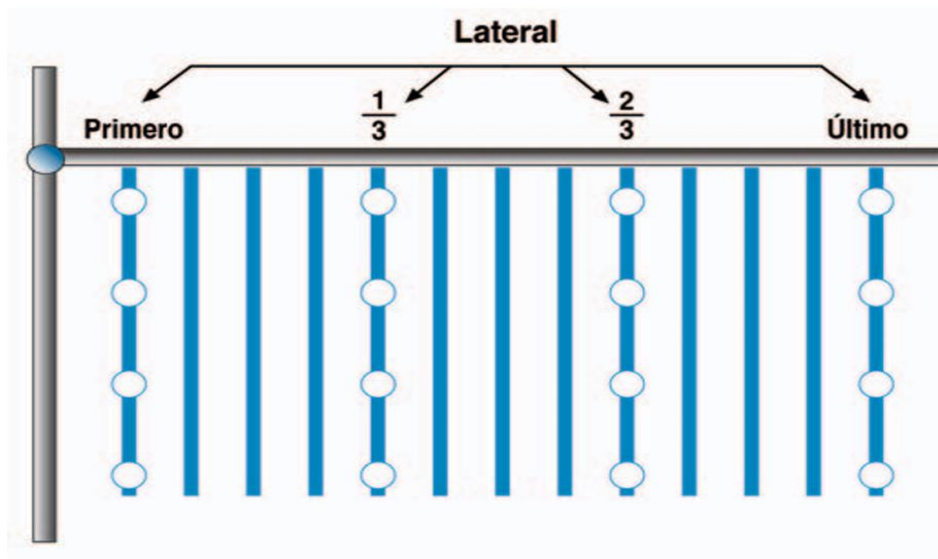
Se recolectaron dos muestras de agua de riego para esta investigación, la primera proveniente del río Lipari y la segunda del agua proveniente del pozo de la comunidad de Santa Aquilina, ambas muestras fueron recolectadas en botellas pet de 1 litro. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de calidad ambiental (L.C.A), dependiente del instituto de ecología de la facultad de ciencias puras de la universidad mayor de san Andrés, los resultados de ambos análisis de aguas se encuentran detallados en el anexo 5.

#### 4.5.2.3. Determinación del coeficiente de uniformidad de caudales

Para determinar el coeficiente de uniformidad se utilizó el método descrito por Fernández et.al (1999), el cual dice que “En general, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello, se eligen los laterales más cercano y más lejano de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios. En cada lateral se seleccionan cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios”. Los resultados de esta medición se describen en el anexo 2.

**Figura 7**

*Laterales y emisores que se deben seleccionar para evaluar una subunidad de riego localizado.*



Fuente: Fernández et.al (1999). *Manual de riego para agricultores Modulo 4: riego Localizado*. Córdoba, España: Ediciones Ilustres S.L.

#### **4.5.3. Preparación del terreno**

La preparación del terreno se realizó a mediados del mes de Julio hasta inicios del mes de septiembre sobre las dos áreas de 50,4 m<sup>2</sup> dando un total de terreno preparado de 100,8 m<sup>2</sup>, el área A1(método de riego por surcos se ubicó bajo la 2da carpa solar y el área A2 (método de riego por goteo) se ubicó en la tercera carpa solar, ya que está más cerca al suministro de agua que proporcionaba el pozo de la comunidad.

En ambas áreas se trazó los límites de 14,4 m de largo y 3,5 m de ancho, una vez delimitadas las áreas se procedió al desmalezado, remoción del suelo con picota y el nivelado con rastrillo, para finalizar se realizó una separación de surcos de 0,5 m según el diseño establecido.

#### **4.5.4. Instalación de los métodos de riego**

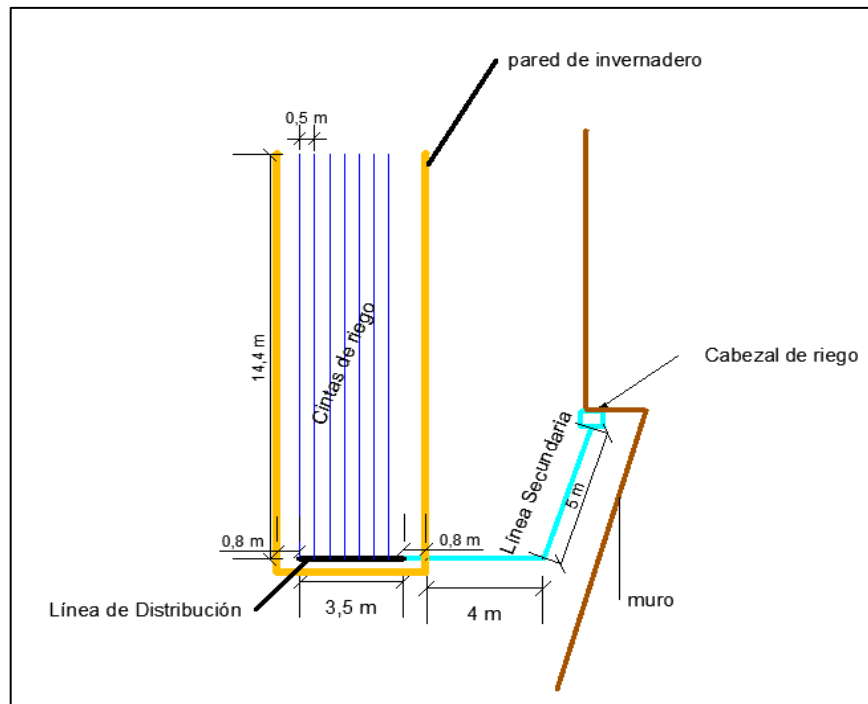
##### **- Instalación del método de riego por goteo**

Posteriormente a la preparación del terreno se instaló el cabezal de riego junto a la toma de agua más cercana, la llave de paso se adaptó con una reducción de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  de pulgada acoplándolo a una "T" de  $\frac{1}{2}$  pulgada para añadir una llave de paso, conjuntamente se acoplo el filtro de anillas y dos llaves de paso, una antes del filtro y la otra después del filtro de anillas, luego se instaló la línea secundaria con una tubería de P.E. y 3 codos con dirección hacia la carpa con un total de 9,8 m de tubería empleada.

Posteriormente la línea de distribución fue armada con una tubería de P.E de 1 plg de 3 m de largo, a dicha tubería se le perforo con taladro 7 aberturas a una distancia de 0,5 m, la línea fue acoplada con una reducción de 1 a ½ pulgadas y se le añadió una llave de paso, en los agujeros de la línea de derivación se acoplo inicialmente las válvulas para acople de cintas de riego, para posteriormente acoplar las cintas de riego de una longitud de 14,4 m.

### Figura 8

*Descripción de la instalación del método por goteo*



Fuente: elaboración propia

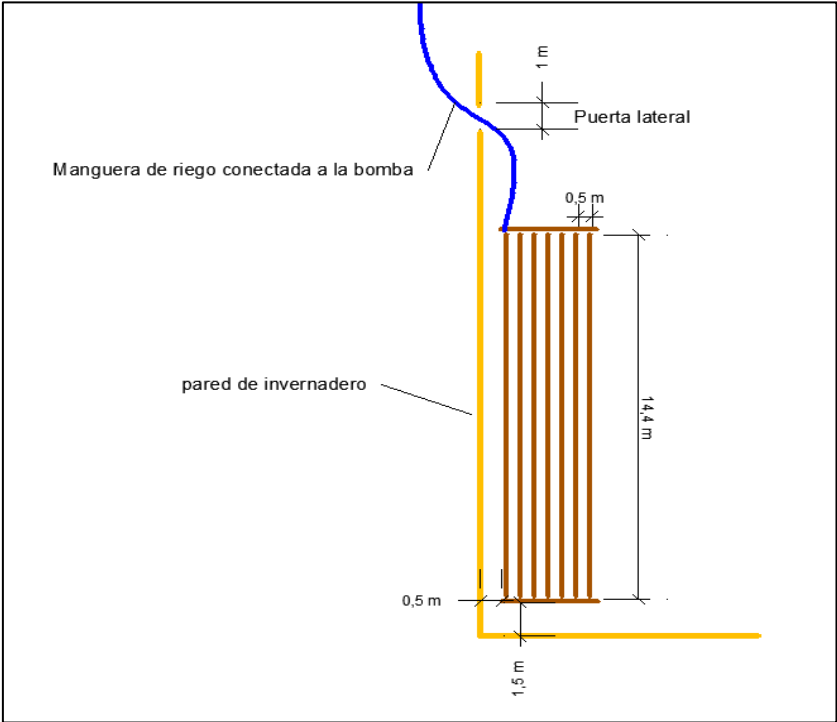
### - Instalación del método de riego por surcos

Los surcos de tierra para este método se construyeron a una distancia de 0,5 m entre cada surco, empleando estacas unidas con una guía de hilo de cáñamo, se procedió

a escarbar uno por uno los surcos a mano apoyándose en una picota para este objetivo. La aplicación del método de riego por surcos estuvo condicionada por el calendario de riego propio de la comunidad, en el que se regaba todos los cultivos un solo día por semana, siendo este día usualmente los lunes, para este fin se empleaba la motobomba de 5 Hps de la comunidad a la cual se le acoplaba una manguera de riego de 2 plg de diámetro, la motobomba ubicada cerca del lecho del rio impulsaba el agua atreves de la manguera de riego que entraba por la puerta lateral de la carpa 2 llegando hasta el pie de los surcos, donde se procedía regar cada uno de los surcos del área de investigación.

**Figura 9**

*Descripción del método de riego por goteo*



Fuente: elaboración propia



#### **4.5.5. Manejo del cultivo**

##### **4.5.5.1. Almacigo**

El almacigo se inició en fecha 3 de agosto de 2023, en bandejas de 180 unidades, con un preparado de 20 kg de turba mezclado con 2 kg de humus de lombriz, las diferentes variedades se trasplantaron a 2 semillas por cada espacio en bandeja haciendo un uso total de 5 bandejas de almacigo.

##### **4.5.5.2. Trasplante**

El trasplante de los plantines a las áreas de investigación fue en fecha 8 de septiembre de 2023, el área A1 del método de riego por surcos, se trasplanto primero los plantines y posteriormente se humedeció el suelo con agua del rio Lipari mediante la motobomba de 5 HP, en el área A2 del método de riego por goteo trasplanto un plantin en cada uno de los goteros de la cinta de riego y luego se rego mediante las líneas de goteo.

##### **4.5.5.3. Labores culturales**

Entre las labores culturales inicialmente se procedió con los aporques al cultivo a razón de 2 veces, la primera a las 2 semanas de trasplantado el cultivo de brócoli en ambas áreas de experimentación (método de riego por goteo y método de riego por superficie) y la segunda a las 6 semanas de trasplantado el cultivo, posterior a eso no se realizaron más aporques debido a que el crecimiento foliar de las plantas de brócoli incapacitaban el ingreso a las parcelas.

El deshierbe de las parcelas fue constante a razón de una vez por semana dejando las épocas en las que la crecida de hierba ya no fue un impedimento para el desarrollo de las plantas de brócoli.

A parte del desmalezado y el aporcado se procedió a la fumigación del cultivo de manera preventiva y curativa con un preparado de un ajo y tres cebollas mezclados en 20 litros de agua con 100g de detergente patito, utilizando una mochila fumigadora de la misma cantidad.

#### **4.6. Metodología experimental**

##### **4.6.1. Diseño experimental**

Para el análisis estadístico de las variables de respuesta se organizó el experimento bajo un diseño completamente al azar con arreglo de parcelas divididas.

##### **4.6.1.1. Modelo lineal aditivo**

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ = Una observación cualquiera de las variables

$\mu$ = Media general

$\alpha_i$ = Efecto i-esimo del factor método de riego

$\varepsilon_{ik}$ = Efecto aleatorio entre las repeticiones y el factor método de riego

$\beta_j$ = Efecto j-esimo de las variedades de Brócoli

$\alpha\beta_{ij}$ = Interacción existente entre los factores método de riego y variedad de Brócoli

$\varepsilon_{ijk}$ = Efecto aleatorio total o del diseño experimental.

#### 4.6.1.2. Factores de estudio

Los factores de estudio a evaluar son el método de riego que se encuentra como parcela grande del diseño y la variedad como parcela pequeña.

Factor A: Método de Riego	Factor B: Variedades	
A1 = Método de riego por surcos	B1 = Variedad Calabresse	B3 = Variedad Pirata BC 1691
A2 = Método de riego por goteo	B2 = Variedad Diccico	B4 = Variedad Avenger

#### 4.6.1.3. Número de tratamientos

**Tabla 5**

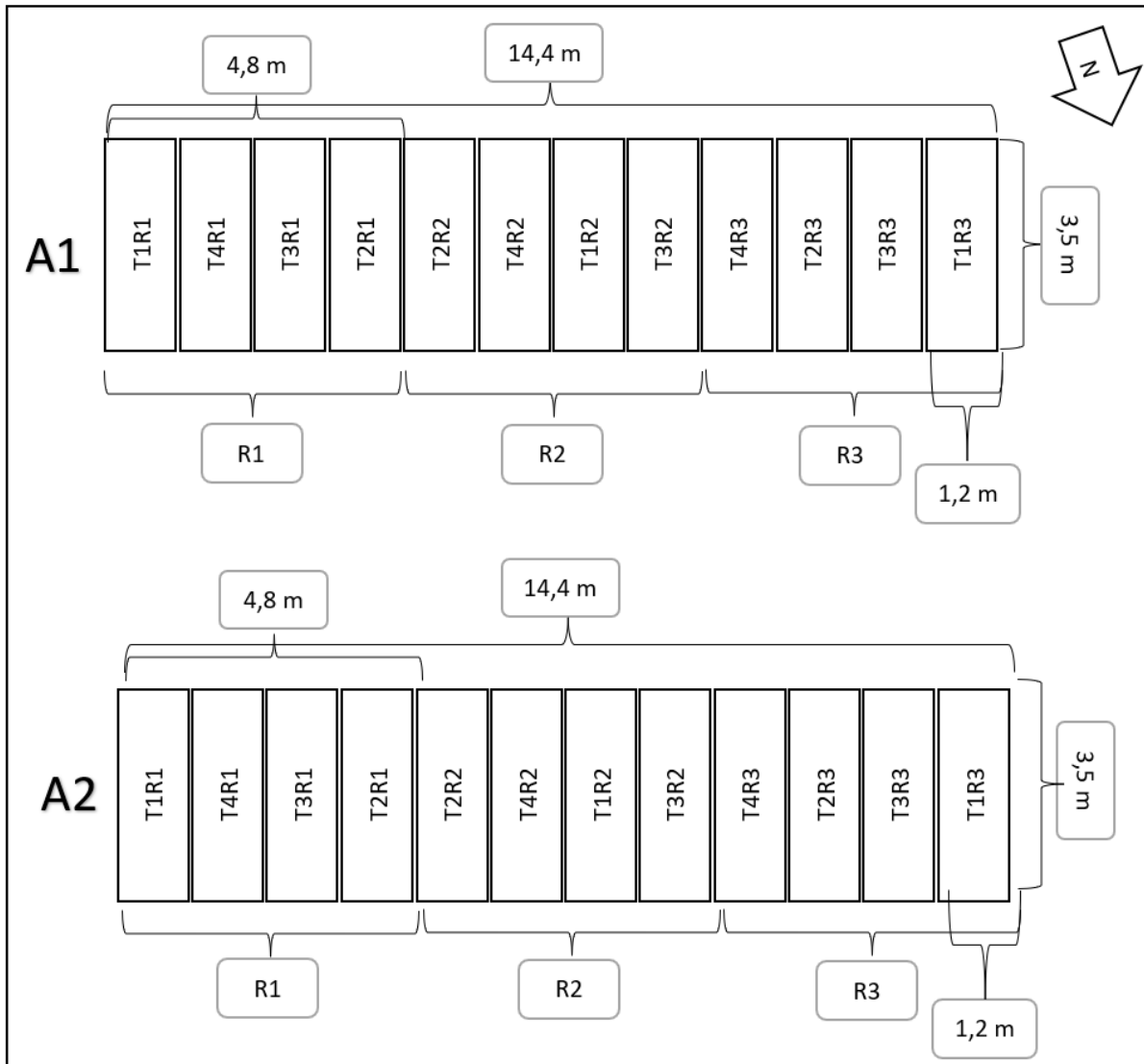
*Interacción de factores de estudio*

Tratamiento	Combinación	Descripción
T1	A1 x B1	Surcos x variedad Calabresse
T2	A1 x B2	Surcos x variedad Diccico
T3	A1 x B3	Surcos x variedad Pirata BC 1691
T4	A1 x B4	Surcos x variedad Avenger
T5	A2 x B1	Goteo x variedad Calabresse
T6	A2 x B2	Goteo x variedad Diccico
T7	A2 x B3	Goteo x variedad Pirata BC 1691
T8	A2 x B4	Goteo x variedad Avenger

#### 4.6.2. Croquis del experimento

Figura 10

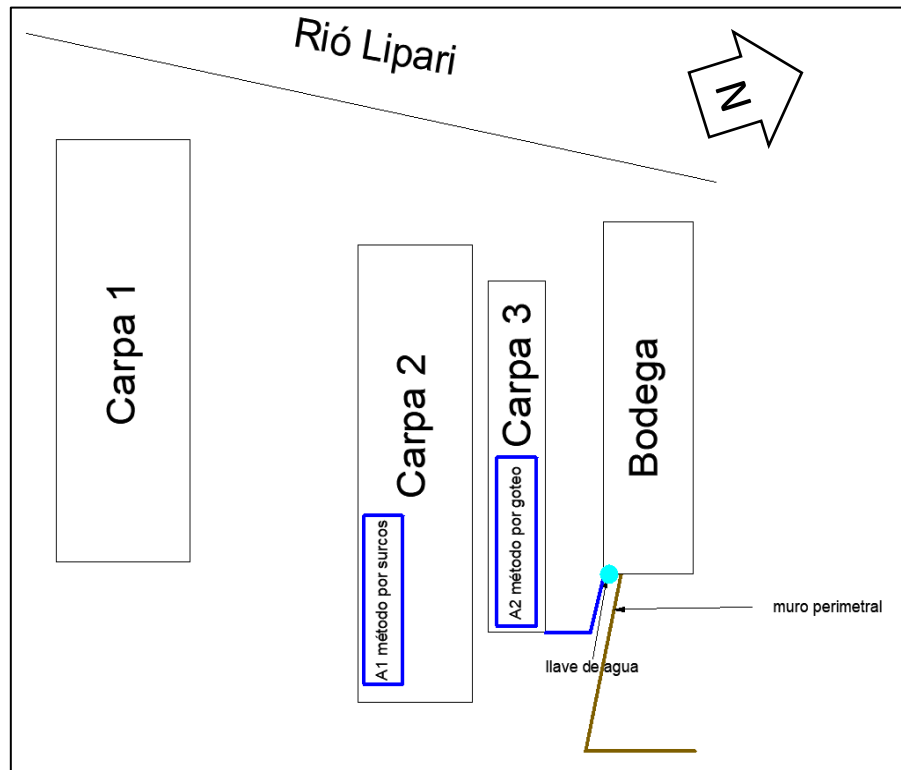
Croquis de la distribución de tratamientos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11**

*Ubicación de las áreas experimentales dentro de los invernaderos de la comunidad*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.7. Variables de respuesta**

##### **4.7.1. Días a la cosecha desde el trasplante**

Para esta variable se contabilizó la cantidad de días que le tomo a cada tratamiento llegar a desarrollar completamente su pella, desde el día de trasplante hasta su cosecha.

#### **4.7.2. Lámina de riego**

Se calculo la cantidad de agua requerida para la implementación del método de riego por goteo mediante el método empleado por Pizarro descrito por Arragan (2016), estos cálculos están descritos en el anexo 7.

Mientras que la cantidad de agua aplicada en el método de riego por surcos fue calculada mediante el método de balance de volumen aplicando el método iterativo de Newton-Raphson bajo la ecuación de infiltración de Kostiaikov-Lewis, estos cálculos están descritos en el anexo 8.

#### **4.7.3. Porcentaje de germinación**

Se tomaron datos para determinar en porcentaje la cantidad semillas que germinaron a los 5 días de siembra de las variedades en un ambiente controlado del laboratorio biotecnología de la Facultad de Agronomía.

#### **4.7.4. Porcentaje de prendimiento**

Se contabilizo la cantidad de plantas de almácigos que sobrevivieron en cada uno de los tratamientos al trasplante luego de una semana de realizada esta actividad.

#### **4.7.5. Altura de planta**

Se midió la altura de las plantas de los tratamientos durante todo el tiempo de crecimiento hasta la cosecha, con la ayuda de un flexo se procedió a medir la altura desde la base de la planta hasta la punta de la hoja más larga, una vez cada semana después del trasplante.

#### **4.7.6. Número de hojas**

Para esta variable se contabilizó el número de hojas desarrolladas durante todo el experimento, siendo la toma de datos semanalmente.

#### **4.7.7. Diámetro del tallo**

El diámetro del tallo fue medido después de que el desarrollo del tallo en las plantas fuera considerable para medir con ayuda del vernier, se midió el tallo con la ayuda del vernier desde la base de la planta.

#### **4.7.8. Peso de pella**

Se procedió a pesar las pellas cosechadas por tratamientos sin hojas y con una longitud de tallo no mayor a los 4 cm con la ayuda de una balanza electrónica.

#### **4.7.9. Diámetro de pella**

Con la ayuda de un vernier se midió el diámetro de la pella por tratamiento justo después de que las pellas fueran cosechadas.

#### **4.7.10. Rendimiento**

Para el cálculo del rendimiento se procedió a pesar las pellas cosechadas por unidad experimental y realizar un ajuste del total de pellas cosechadas bajo el área de la misma unidad experimental.

#### **4.7.11. Costos de producción**

El costo de producción se calculó mediante un balance en base a los insumos usados en cada uno de los métodos y el beneficio recaudado en base al rendimiento por cada uno de los tratamientos según la metodología descrita por el CIMMYT (1988).



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Análisis físico-químico del suelo.

La muestra de suelo para este análisis fue obtenida antes de la remoción del suelo a una profundidad de 20 cm, el análisis de las variables físicas y químicas del suelo fue realizada en el laboratorio de la facultad de agronomía en suelos y aguas (LAFASA)–UMSA.

#### 5.1.1. Características físicas del suelo

**Tabla 6.**

*Análisis físico del suelo*

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Arena		%	41
Limo	Bouyoucos	%	27
Arcilla		%	32
Clase Textural		-	Franco Arcilloso
Densidad Aparente	Probeta	g/cm <sup>3</sup>	1,176
Porosidad	Picnómetro	%	40
Humedad a CC $\theta$ (vol.)	Ollas a presión de Richards	%	23
Humedad a PMP $\theta$ (vol.)	Ollas a presión de Richards	%	16
Infiltración	Calculo	cm/h	0,4

Fuente: Elaboración propia en base a análisis del suelo elaborados en LAFASA

De la tabla 6 se puede observar que el suelo del campo experimental es de clase textural “Franco Arcilloso”, con un contenido de arena de 41%, limo al 27% y arcilla al

32%. La densidad aparente tiene un valor de 1,176 g/cm<sup>3</sup> con una porosidad de 40%, el factor de humedad a capacidad de campo (CC) al 23% y el punto de marchitez permanente a (PMP) 16%.

### 5.1.2. Características químicas del suelo

**Tabla 7**

*Análisis químico del suelo*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
pH	Potenciometría	-	6,49
Conductividad Eléctrica en agua 1:5	Potenciometría	dS/m	0,14
Nitrógeno	Kjendahl	%	0,21
Fósforo	Espectrofotometría UV-Visible	Ppm	89,11
Potasio	Acetato de amonio 1N (espectrofotómetro de emisión atómica)	meq/100g S	0,31
Bases Intercambiables	Acetato de amonio 1N (espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría	meq/100g S	7,43
Materia Orgánica	Walkley y Black	%	2,9

Fuente: Elaboración propia en base a análisis del suelo elaborados en LAFASA

Los resultados del análisis químico mostrado en la tabla 7 nos indica que el suelo presenta un pH de 6,49 el cual es ligeramente ácido, lo que indica que es un suelo apto para el cultivo del brócoli y una conductividad eléctrica de 0,14 dS/m, el contenido de nitrógeno se establece en un porcentaje de 0,21%, el fósforo en 89,11 ppm y el

potasio se establece en 0,31 meq/100g S; al final se puede observar el contenido de materia orgánica en un porcentaje de 2,9%.

Según los valores observados de la tabla 7 podemos decir, basándonos en la tabla 3 que, el contenido de materia orgánica se encuentra con una valoración de término medio en su contenido al tener un porcentaje de 2,9%, el nitrógeno se encuentra en 0,21% que es un valor de contenido alto, por otro lado, el fósforo se encuentra con una valoración alta, siendo su contenido en ppm de 81,11 y finalmente el potasio tiene una valoración de contenido medio con un valor de 0,31 meq/100g S.

## **5.2. Análisis químico del agua de riego**

Los análisis químicos de aguas fueron realizados en el laboratorio de calidad ambiental (LCA) dependiente del instituto de ecología de la facultad de ciencias puras, para esto se tomó una muestra de 1 litro del agua del rio Lipari y 1 litro de agua de grifo proveniente del pozo de la comunidad de Santa Aquilina, estas muestras se recogieron en botellas Pet transparentes.

Teniendo en cuenta la tabla de parámetros presentada en el anexo 6, se puede decir que el agua del rio Lipari presenta cierto grado de preocupación en base a los parámetros de alcalinidad total, dureza total, pH y cantidad de sodio en el agua, lo cual a largo plazo podría ocasionar un desbalance en las características del suelo si es que no se tiene un adecuado manejo del agua destinada al riego.

Por otro lado, los parámetros de cantidad de cloruros, conductividad eléctrica, fosforo total, nitratos y potasio están entre el rango de no preocupación.

**Tabla 8***Análisis Químico del Agua del Río Lipari*

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Alcalinidad Total	EPA 310,1	mg CaCO <sub>3</sub> /l	365
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	81
Conductividad Eléctrica	EPA 120,1	dS/m	1,245
Dureza Total	SM 2340-B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	193
Fosforo Total	EPA 365,2	mg P-PO <sub>4</sub> /l	6
Nitratos	SM 4500-NO <sub>3</sub> - B	mg N-NO <sub>3</sub> /l	0,75
pH	EPA 150,1	-	7,8
Potasio	EPA 258,1	mg/l	20
Sodio	EPA 273,1	mg/l	95
Cadmio	EPA 213,1	mg/l	0,00091
Plomo	EPA 239,2	mg/l	0,0055

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del análisis del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), 2023.

También de la tabla 8 podemos observar que los niveles de cadmio y plomo son permisibles según la tabla 4 de límite máximo permisible de metales pesado, estando estos en cantidades demasiado bajas como para considerarse un peligro.

Por otro lado, la siguiente tabla 9 nos muestra que los niveles de alcalinidad (CaCO<sub>3</sub>), conductividad eléctrica, dureza total y cantidad de sodio están en el rango grado de preocupación según la tabla del anexo 6, teniendo que tomar precauciones sobre estos factores al momento de implementar esta agua de riego.

Por lo que se refiere a la cantidad de fósforo, nitratos y potasio se encuentran entre los valores considerados como no preocupantes, los valores de metales pesados de cadmio y plomo están por debajo del límite de determinación, lo cual nos indica que sus niveles son tan bajos que no es posible definir su cantidad con las técnicas aplicadas de laboratorio.

**Tabla 9**

Análisis Químico del Agua del Pozo de la Comunidad

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Alcalinidad Total	EPA 310,1	mg CaCO <sub>3</sub> /l	550
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	65
Conductividad Eléctrica	EPA 120,1	μS/cm	1862
Dureza Total	SM 2340-B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	617
Fosforo Total	EPA 365,2	mg P-PO <sub>4</sub> /l	0,023
Nitratos	SM 4500-NO <sub>3</sub> -B	mg N-NO <sub>3</sub> /l	<0,3
pH	EPA 150,1		7.6
Potasio	EPA 258,1	mg/l	12
Sodio	EPA 273,1	mg/l	219
Cadmio	EPA 213,1	mg/l	<0,00050
Plomo	EPA 239,2	mg/l	<0,0020

Nota: Elaboración propia en base a los resultados del análisis del Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), 2023.

Cuando se usan aguas salinas, una de las mayores preocupaciones es evitar la acumulación de sal en la zona de raíces del cultivo. Una forma de mitigar el daño es con sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo. Este sistema ha demostrado

más versatilidad y eficiencia al momento de regar con aguas salinas (Riegos Iberia Regaber, S.A., 2022).

La investigación científica, el desarrollo y la innovación son esenciales para aprovechar las aguas residuales como recurso valioso para la producción agrícola. Las soluciones técnicas dirigidas a mejorar el uso de agua regenerada, puede coadyuvar a mitigar los efectos negativos de la escasez del agua a nivel mundial y mejorar la calidad de vida para todos y en particular para los grupos en situaciones vulnerables y desfavorecidas, requieren mayor desarrollo.

La recopilación de datos y documentación puede generar nuevos conocimientos que ayuden a comprender mejor el uso productivo de las aguas residuales en la agricultura, alternativa válida siempre y cuando se evalúen sus riesgos y se tomen las medidas necesarias de protección para la salud y el ambiente. (Mendoza Retana et al, 2021).

Swistock (2021), nos dice que “Todas las fuentes de agua de riego deben ser analizadas para determinar el pH, la alcalinidad, la conductividad, la dureza, el cloro y el sodio como mínimo, ya que estos son problemas comunes en los suministros de agua de Pensilvania. Lo ideal es realizar un análisis más exhaustivo que incluya también el total de sólidos disueltos, el boro, el calcio, el magnesio, la tasa de adsorción de sodio (SAR), el nitrato-nitrógeno, el amonio-nitrógeno, el fósforo, el potasio, el azufre, el hierro, el manganeso, el cobre, el molibdeno y el zinc”.

### 5.3. Duración del ciclo del cultivo desde el trasplante hasta la cosecha

#### 5.3.1. Análisis de varianza de efectos fijos en base a la duración del ciclo

En la tabla 10 se puede observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 5,41 % de variabilidad entre datos, lo que indica que el estudio se encuentra en el rango de manejo adecuado.

Por otro lado, la tabla 10 nos muestra que el factor método de riego (riego por superficie vs riego por goteo) es altamente significativo, lo cual nos indica que si existen diferencias estadísticamente apreciables entre los métodos de riego con respecto a los días que el cultivo permaneció en tierra desde su trasplante hasta la cosecha.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza de efectos fijos de la duración del ciclo*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	240,67	240,67	10,50	4.75 **
Variedad	3	246,63	82,28	3,79	3.49 **
Método de riego*variedad	3	38,33	12,78	0,59	3.49 NS

C.V. = 5,41 %

De la tabla 10 También se puede apreciar que el factor variedad es significativo, lo cual nos indica que existen diferencias apreciables entre las variedades con respecto a los días de desarrollo hasta la cosecha desde el trasplante. Por último, el análisis de

varianza también nos indica que no existe interacción entre factores (método de riego x variedad), lo cual nos dice que ambos factores son independientes entre sí.

Los resultados obtenidos se pueden atribuir a la calidad del agua utilizada en ambos métodos y la diferencia de potencial genético de cada una de las variedades, teniendo el agua de pozo de la comunidad un tanto más de contenido de sodio y carbonatos, lo que implica que en cierta medida la calidad del agua utilizada y la forma en que se aplica repercute en el tiempo que el cultivo de brócoli tarda en desarrollarse para su cosecha.

### **5.3.2. Prueba Duncan para la duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha.**

La tabla 11 nos muestra que, la media de días del cultivo desde el trasplante hasta la cosecha del cultivo bajo riego por goteo fue de 89 días, mientras que el cultivo de brócoli bajo riego por superficie en surcos fue de 83 días, habiendo una diferencia de 6 días entre ambos métodos de riego.

**Tabla 11**

*Prueba de Duncan para la duración del ciclo en base al método de riego*

<b>Método de Riego</b>	<b>Media (días)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Goteo	89	A
Surcos	83	B



Con respecto a los días a la cosecha, Copari (2015), reporta un ciclo desde el trasplante hasta la maduración de inflorescencias para la cosecha de sus brócolis variedad “*Calabresse*” y “*De Cicco*” de 12 semanas, es decir 84 días después del trasplante, mientras que Blanco (2017), obtuvo resultados en su variable de días a la aparición de pella un promedio de 90 días en brócoli “*De Cicco*”, ambos resultados obtenidos bajo riego por goteo.

Por otro lado, Gutiérrez (2005), declara en sus resultados que el inicio de la cosecha de sus variedades de brócoli “*Green Storn*”, “*Montecristo*” y “*Pirata*” fue a los 93 días después del trasplante y que la cosecha se prolongó durante 30 días hasta su culminación, siendo este trabajo realizado bajo riego en surcos.

**Tabla 12**

*Prueba de Duncan para la duración del ciclo en base a las variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (días)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Calabresse	89	A
Avenger	88	A
Diccico	84	AB
Pirata	81	B

Por otro lado, la tabla 12 muestra que la variedad que más tiempo le tomo desarrollarse desde el trasplante hasta la cosecha fue la variedad “*Calabresse*”, con una media de

89 días, mientras que la variedad con menor tiempo de desarrollo fue la variedad “*Pirata*”, con una media de 81 días, teniendo una diferencia de ocho días entre sí.

APLIMANCHA, (s.f), sobre su producto brócoli “*Calabresse Natalino*” dice que es una “Variedad de ciclo tardío, lista su cosecha en 80-90 días y con buena resistencia al frío... De color verde brillante y grano medio-fino. Adaptado para cultivo al aire libre”.

Por otra parte, BAYER (2021), sobre su producto en su página web indica que el brócoli BC 1691 (pírate) tiene una maduración relativa de 85 días, mientras que SAKATA (2023), en su página web dice sobre su producto de brócoli híbrido “*Avenger*” que tiene una maduración relativa de 85-90 días después del trasplante.

Los resultados obtenidos pueden ser explicados por la calidad del agua utilizada en ambos métodos y las diferencias genéticas entre las variedades de brócoli. Se observa que el agua de pozo en la comunidad tiene niveles más altos de sodio y carbonatos, mientras que el agua del río Lipari tiene mayor contenido de nutrientes y menor cantidad de sodio y carbonatos, lo que sugiere que la calidad y la aplicación del agua influyen en el tiempo que tarda el cultivo de brócoli en desarrollarse y estar listo para la cosecha.

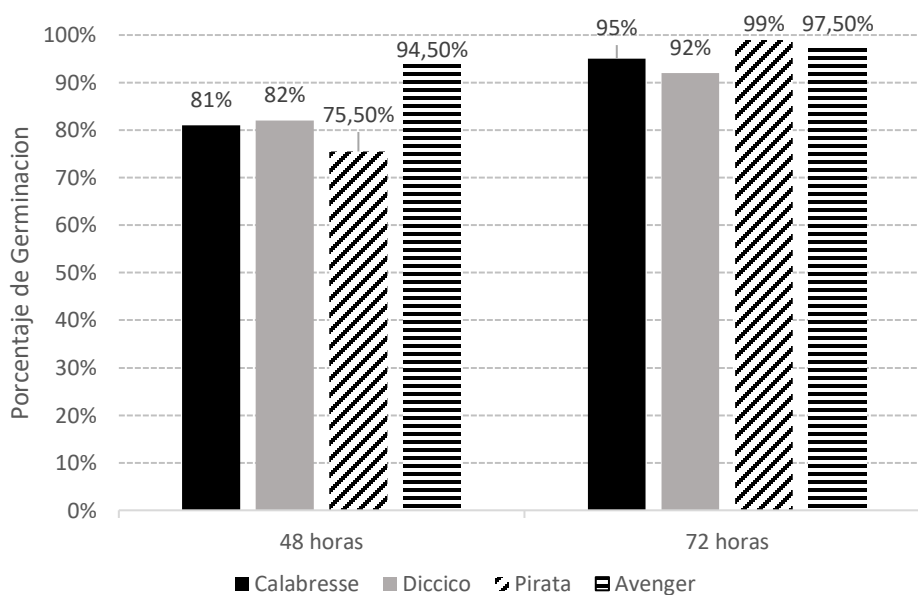
#### **5.4. Porcentaje de germinación**

La variable porcentaje de germinación fue determinada mediante una prueba de germinación realizada en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Agronomía en el ambiente controlado de la cámara de crecimiento, con un promedio de temperatura de 25 °C.

La figura 11 nos muestra que la variedad “*Avenger*” alcanzo a germinar 189 semillas (94,5%), de las cuales 11 (5,5%) no germinaron a las 48 horas después de iniciada la prueba de germinación, la segunda variedad con mayor número de semillas germinadas fue la variedad “*Calabresse*” con un total de semillas germinadas de 162 (81%), de las que 38 (19%) no germinaron, seguido de la variedad “*Diccico*” con 165 (82%) semillas germinadas y 35 (17,5%) no germinadas, por último la variedad pirata con 151 (75,5%) semillas germinadas, de las cuales 49 (24,5%) no germinaron a las 48 horas después de iniciada la prueba.

**Figura 12**

*Porcentaje de germinación a las 48 y 72 horas después de la siembra*



Fuente: Elaboración propia

A demás nos muestra que la variedad “*Pirata*” tuvo un total de 198 (99%) semillas germinadas, de las cuales 2 (1%) no germinaron, seguida de la variedad “*Avenger*” de la cual germinaron 195 (97,5%) semillas, siendo la cantidad de semillas que no

germinaron de 5 (2.5%), la variedad “*Calabresse*” mostro un total de 190 (95%) semillas germinadas, de las cuales 10 (5%) no germinaron y por último de la variedad “*Diccico*” germinaron 184 (92%) semillas, de las cuales 16 (8%) no germinaron a las 72 horas después de iniciada la prueba de germinación.

Se realizo el seguimiento de la prueba de germinación durante 3 días más, tiempo en el que no observo más semillas germinadas de ninguna de las variedades en estudio.

Gutierrez (2005), describe sus resultados sobre la germinación de sus variedades de brócoli (green storn, montecristo y pirata) diciendo “La emergencia total de los plantines de brócoli en las tres variedades fue a los 15 días después de la siembra en almácigo, obteniendo un 92% de plantas geminadas a una temperatura de 30 a 32 °C”.

## 5.5. Porcentaje de prendimiento

### 5.5.1. Análisis de varianza de efectos fijos para el porcentaje de prendimiento

En la siguiente tabla podemos observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 3,09 % de variabilidad entre datos, lo cual indica que el estudio se encuentra en el rango de manejo adecuado.

**Tabla 13**

*Análisis de Varianza de efectos fijos: Porcentaje de Prendimiento*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	23,60	23.60	9,35	4,75 **S
Variedad	3	8,64	2,88	0,32	3,49 NS
Método de riego*variedad	3	1,48	0,49	0,05	3,49 NS

C.V. = 3,09 %

De la tabla 13 también podemos observar que el factor método de riego (riego por surcos vs. riego por goteo) es altamente significativo, lo cual indica que el promedio de porcentaje de prendimiento en ambos métodos son estadísticamente diferentes entre sí. Por otro lado, el análisis de varianza también nos muestra que el factor variedad es no significativo con respecto al porcentaje de prendimiento, lo que indica que estadísticamente hablando no existen diferencias significativas entre las variedades empleadas con respecto al porcentaje de prendimiento. Por último, la tabla 13 nos

muestra que la interacción entre los factores método de riego y variedad es no significativa, lo que indica que ambos factores son independientes entre sí.

### 5.5.2. Prueba de Duncan para el porcentaje de prendimiento

En la tabla 14 podemos observar de la prueba de Duncan que se obtuvo mayor porcentaje de prendimiento sobre los plantines bajo el método de riego por goteo, teniendo un 98,5 % de plantines sobrevivientes a la puesta en el lugar definitivo, mientras que en el área ocupada por el método de riego por surcos se obtuvo un porcentaje de 96,5 % de prendimiento.

**Tabla 14**

*Prueba de Duncan: porcentaje de prendimiento sobre el método de riego*

<b>Método de Riego</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Goteo	98,5	A
Surcos	96,5	B

Zamora (2016), nos dice que “Como el sistema radical del brócoli no profundiza más de 30 cm, sobre todo cuando se realiza el trasplante, los riegos deberán ser ligeros y frecuentes, de tal forma que el cultivo disponga siempre de humedad”.

Vilca (2019), en su evaluación de cultivares de brócoli en diferentes fechas de trasplante obtuvo un porcentaje de prendimiento de sus variedades (Imperial, Legacy, Avenger y Formoso) de entre el 97,47 % al 91,51 %, bajo riego por superficie.

La diferencia entre métodos se puede atribuir a la relación entre humedad y la supervivencia de los plantines, siendo que en el método de riego por goteo se aplica la lámina de manera más continua y que los plantines son susceptibles a pequeños cambios en el ambiente.

## 5.6. Altura de planta

### 5.6.1. Análisis de varianza de efectos fijos para la altura de planta a los 64 días del trasplante

En la tabla 15 podemos observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 8,23 % de variabilidad entre datos, lo que indica que el estudio se encuentra en el rango de manejo adecuado.

**Tabla 15**

*Análisis de varianza de efectos fijos en base a la altura de planta*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	20707,25	20707,25	15,08	4,75 **
Variedad	3	1779,13	593,04	14,90	3,49 **
Método de riego*variedad	3	30,25	10,08	0,25	3,49 NS

C.V. = 8,23 %

De la tabla 15 podemos observar que el factor método de riego (riego por surcos vs riego por goteo) es altamente significativo a los 64 días después del trasplante, lo cual indica que el promedio de altura entre los sistemas fue estadísticamente diferente entre

cada uno. De la misma tabla, podemos observar que el factor variedad es altamente significativo, lo que nos dice que el promedio de altura según las variedades fue estadísticamente diferente entre sí. Y por último la interacción entre los factores (método de riego vs variedad) indicados en la tabla 16 es no significativa, lo que nos indica que dichos factores no interactúan entre sí.

Sobre la altura de planta Blanco (2017), en sus resultados declara que “El promedio general de la altura de planta es de 81,85 cm la cual son valores muy altos en comparación con los países como Guatemala que producen brócoli de esta variedad Diccico. Esto se debería al alto contenido de materia orgánica, nitrógeno del suelo y el efecto de AOLA sobre el cultivo de brócoli y también al proceso de adaptación y los cambios bruscos de temperatura en carpa solar ya que en días soleados llega a 25 a 30 °C, manteniendo abierto las ventanas y la puerta, en las noches de 5 a 10 °C, en épocas de invierno llegando a -5 °C”.



### 5.6.2. Prueba de Duncan en base a la Altura de Planta a los 64 Días Después del Trasplante

La siguiente tabla nos muestra que la prueba de Duncan determino que el promedio de altura de plantas fue mayor en el método de riego por superficie, teniendo un crecimiento a los 64 días después del trasplante de 84,57 cm, mientras que los brócolis dentro del área con el método de riego por goteo alcanzaron un promedio de crecimiento de 63,33 cm.

**Tabla 16**

*Prueba Duncan en base a la altura de planta según el método de riego*

<b>Método de Riego</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Surcos	84,57	A
Goteo	63,33	B

Bajo estos criterios podemos asumir que la incorporación de nutrientes dentro del agua del rio Lipari contribuyeron al desarrollo de las plantas de brócoli, mientras que las concentraciones de sodio y carbonatos incorporados en el agua proveniente del pozo de la comunidad freno el crecimiento a su máximo potencial en los brócolis de este método.

Mamani (2014), nos dice que “los resultados promedios de altura de planta al momento de la cosecha fue de 88.98 cm y 60,99 cm en las variedades Diccico y Pirata respectivamente, los crecimientos variados se deberían a las diferentes densidades de siembra y también a los efectos de la genética”.

Por otro lado, en la tabla 17 podemos observar que la variedad con mayor promedio de altura fue “*Diccico*” con un promedio de 85,17 cm de crecimiento, mientras que la de menos altura fue la variedad “*Pirata*” con 63,85 cm de crecimiento.

**Tabla 17**

*Prueba Duncan en base a la altura de planta según las variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Diccico	85,17	A
Calabresse	79,22	A
Avenger	67,55	B
Pirata	63,85	B

Gutierrez, (2005), obtuvo resultados similares con el cultivo de la variedad “*Pirata*” cultivada bajo diferentes densidades de siembra, con un promedio de crecimiento de 58,9 cm a las 8 semanas del trasplante.

Por otro lado, las diferencias obtenidas entre variedades, se debe en todo caso a su expresión genética, observándose una diferencia entre los brócolis híbridos menos altos que los no híbridos.

## 5.7. Número de hojas

### 5.7.1. Análisis de varianza de efectos fijos en base al número de hojas a los 79 días del trasplante

En la tabla 18 se puede observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 19,05 % de variabilidad entre datos, lo que indica que el estudio de la variable se encuentra en el rango de manejo adecuado. También se puede observar que el factor método de riego (riego por surcos vs riego por goteo), es altamente significativo en el estudio, lo cual indica que el promedio de desarrollo de hojas a los 79 días después del trasplante tuvo diferencias estadísticas significativas entre cada uno de los métodos aplicados.

**Tabla 18**

*Análisis de varianza de efectos fijos en base al número de hojas*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	130,67	130,67	8,81	4,75 **
Variedad	3	252,00	84,00	4,78	3,49 **
Método de riego*variedad	3	17,33	5,78	0,33	3,49 NS

C.V. = 19,05 %

Con respecto a la variedad, también se presentó una alta significancia en el análisis de varianza, lo cual indica que el promedio de desarrollo en el número de hojas a los 79 días después del trasplante entre variedades es estadísticamente diferente entre cada una de ellas.

Por último, también se puede evidenciar que la interacción entre el factor métodos y el factor variedades es no significativa, de manera que estadísticamente el método de riego no interactuó con el potencial de las variedades con respecto a su promedio de formación de hojas a los 79 días después de ser trasplantados los brócolis.

### 5.7.2. Prueba de Duncan en base al número de hojas a los 79 días del trasplante

La prueba de Duncan que observamos en la siguiente tabla nos muestra que el número de hojas a los 79 días después del trasplante fue mayor en los brócolis que se ubicaron sobre el método de riego por surcos, teniendo 24 hojas en promedio, mientras que bajo el método de riego por goteo se desarrollaron en promedio 19 hojas.

**Tabla 19**

*Prueba de Duncan en base al número de hojas según el Método de Riego*

<b>Método de Riego</b>	<b>Media (número de hojas)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Surcos	24	A
Goteo	19	B

La diferencia entre métodos con respecto al número de hojas puede deberse al aporte de nutrientes y minerales dentro de las aguas utilizadas en ambos métodos, notándose que en el método de riego por superficie se incorpora menor cantidad de sodio y carbonatos que en el método por goteo, así también la frecuencia con que es aplicada

la lámina de riego repercute en el desarrollo de hojas está ligado al estrés hídrico que pudo haber tenido la planta en su desarrollo.

Por otro lado, Mamani (2014) nos dice que “La variedad Pirata correspondiente a los tratamientos 4, 5 y 6, numéricamente obtuvieron el mayor número de hojas, de 20, 20 y 22 hojas por planta respectivamente, asumiéndose este comportamiento a la calidad de la semilla y las características genéticas que presenta. Contrariamente la variedad Diccico correspondientes a los tratamientos 1, 2 y 3 son los que obtuvieron un menor número de hojas de 18, 19 y 19 hojas por planta respectivamente, debido al efecto de la calidad de semilla y a sus características genéticas”.

**Tabla 20**

*Prueba de Duncan en base al número de hojas según las variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (número de hojas)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Diccico	26	A
Calabresse	23	A
Avenger	21	AB
Pirata	17	B

Por otro lado, la tabla 20 nos muestra que la variedad “*Diccico*” fue la variedad que desarrollo más cantidad de hojas a los 79 días después del trasplante con un promedio de 26 hojas, mientras que la variedad con menor cantidad de hojas fue la variedad “*Pirata*”, con una media de 17 hojas a los 79 días después del trasplante.

Mientras que las diferencias entre variedades se pueden catalogar como la expresión de su genética, notándose que las variedades híbridas presentan menor cantidad de hojas desarrolladas que las variedades no híbridas.

Copari (2015), obtuvo un promedio similar de número de hojas a lo largo de su ciclo de entre 26 y 27 hojas de sus variedades Calabresse y Diccico.

## 5.8. Diámetro del tallo

### 5.8.1. Análisis de varianza de efectos fijos en base al diámetro del tallo a los 79 días del trasplante

En la tabla 21 se puede observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 11,73 % de variabilidad entre datos, lo que indica que el estudio se encuentra entre el rango de manejo adecuado.

**Tabla 21**

*Análisis de varianza de efectos fijos en base al diámetro del tallo*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico)</b>
Método de riego	1	428,42	428,42	29,93	4,75 **
Variedad	3	72,53	24,18	1,57	3,49 NS
Método de riego*variedad	3	48,93	16,31	1,06	3,49 NS

C.V. = 11,73 %

También en la tabla 21 se puede observar que el factor método de riego (riego por goteo vs riego por surcos), es altamente significativo, lo cual indica que el promedio de

crecimiento en el diámetro del tallo a los 79 días después del trasplante tuvo diferencias estadísticamente significantes entre ambos métodos de riego.

Con respecto a la variedad, el análisis de varianza presento no significancia, lo cual indica que el promedio de diámetro del tallo a los 79 días después del trasplante no tiene diferencias significativas estadísticamente hablando entre las variedades.

También se puede evidenciar que la interacción entre método de riego y variedad es no significativa, lo cual indica que ambos factores actúan de manera independiente sobre la variable de respuesta de diámetro de tallo a los 79 días después del trasplante.

### **5.8.2. Prueba de Duncan en base al diámetro de tallo a los 79 días del trasplante**

La tabla 22 nos muestra que el diámetro de tallo se desarrolló en promedio a 3,8 cm a los 79 días después del trasplante bajo condiciones del método de riego por surcos, mientras que bajo condiciones de riego por goteo el promedio fue menor, con un promedio de desarrollo de diámetro de tallo de 2,9 cm a los 79 días después del trasplante.

**Tabla 22**

*Prueba de Duncan en base al diámetro de tallo según el método de riego*

<b>Método de riego</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Surcos	3,8	A
Goteo	2,9	B

El reporte de Toledo (2006), indica un crecimiento promedio del diámetro del tallo en 3,72 cm de sus variedades de brócoli abonadas con algas oreadas y un crecimiento de 3,04 las abonadas con estiércol porcino, siendo sus variedades Híbrido pirate y Waltham-29, empleando una densidad de siembra de 30x50 y 50x50. Por otro lado, Gutiérrez (2005), obtuvo resultados similares de sus variedades híbridas bajo diferentes densidades de siembra, teniendo a la variedad Pirata con un diámetro de tallo de 3,49 cm, 3,31 cm y 3,40 cm respectivamente para sus diferentes densidades de siembra 30x30, 40x40 y 50x50

Maroto (2002) nos dice sobre la fase de formación de la pella que “la mayor parte de las sustancias de reserva elaboradas por las hojas, son movilizadas hacia el meristemo de crecimiento apical, que sufre una serie de transformaciones y multiplicaciones que conducen a la formación del cogollo apretado de la inflorescencia.

Según lo expuesto podríamos decir que la diferencia entre diámetros de tallo de ambos métodos es producto de la acumulación de nutrientes, dado el caso de que el agua aplicada en el método de riego por superficie tiene cierta cantidad de nutrientes, mientras que el agua aplicada en el método de riego por goteo contiene poco aporte nutricional, además de una mayor cantidad de sodio y carbonatos, los cuales dificultan la extracción de nutrientes del suelo por parte de las plantas de brócoli.



## 5.9. Diámetro de pella

### 5.9.1. Análisis de varianza de efectos fijos del diámetro de pella

En la siguiente tabla se puede observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 13,71 % de variabilidad entre datos, lo que indica que el estudio se encuentra en el rango de manejo adecuado.

También se puede observar que el factor método de riego (riego por surcos vs riego por goteo), es altamente significativo para el diámetro de la pella al momento de la cosecha, lo cual indica que el promedio de diámetro de pella entre los métodos de riego fue estadísticamente diferente entre cada uno.

**Tabla 23**

*Análisis de varianza de efectos fijos del diámetro de la pella*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	3797,90	3797,90	6,28	4,75 **
Variedad	3	21026,12	7008,71	42,33	3,49 **
Método de riego*variedad	3	228,43	76,14	0,43	3,49 NS

C.V. = 13,71 %

El factor variedad de la misma tabla es altamente significativo con respecto al diámetro de pella al momento de la cosecha, lo que nos dice que el promedio del diámetro es diferente en cada una de las variedades estudiadas.

Por último, la interacción entre los factores método de riego y variedad es no significativo según el análisis de varianza, lo cual indica que dichos factores son independientes entre sí.

### **5.9.2. Prueba de Duncan para el diámetro de la pella.**

La tabla 24 nos muestra que según la prueba de Duncan no existen diferencias entre los métodos con respecto a la variable diámetro de pella al momento de la cosecha bajo una significancia de “ $\alpha$ ” igual a 5%, perteneciendo ambos métodos a un grupo “A” de sus medias, aunque se puede notar una diferencia numérica entre ambos métodos, siendo que el método de riego por surcos alcanzó un promedio de diámetro de 10,6 cm y en el riego por goteo un promedio de 8,1 cm de diámetro, habiendo una diferencia de 2,5 cm entre ambos métodos.

Así mismo Gomez (2012), en su investigación obtuvo resultados de entre 12,6 cm a 7,7 cm de diámetro de pella en sus tratamientos de brócoli a los 84 días después del trasplante, siendo las variedades Futura y Pirata y el lugar de su investigación la ciudad de El Alto en el Distrito 3.

**Tabla 24**

*Prueba de Duncan del diámetro de pella según el método de riego*

<b>Método de Riego</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Surcos	10,6	A
Goteo	8,1	A

Por otro lado, la tabla 25 nos muestra que existe una diferencia entre las variedades, siendo la más alta la variedad “Avenger” con una media de diámetro de pella a la cosecha de 12,5 cm y la más baja la variedad “Calabresse” con un diámetro de 6,1 cm.

**Tabla 25**

*Prueba de Duncan del diámetro de pella según las variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Avenger	12,5	A
Pirata	12,2	A
Diccico	6,8	B
Calabresse	6,1	B

Por su parte Martínez (2006), obtuvo resultados en el diámetro de pella en su variedad Cicco II de 13,15 cm el más alto y de 7,75 cm el más bajo, esto en la medida de aplicación de bio fertilizantes elaborados en base a leguminosa platanillo (*Indigofera suffruticosa*) en el municipio de Coroico.

Con respecto a la diferencia entre métodos de riego presentados por análisis de varianza, es probable que esto se deba a factores relacionados con la calidad del agua y la densidad de siembra, Martínez et.al (2008) en su investigación nos dice que, “en nuestros experimentos con plantas de brócoli de variedad marathon, se observó una

disminución del crecimiento de la parte aérea y del tamaño de la inflorescencia al aumentar con las concentraciones salina.

Teniendo que la duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha fue más largo por 7 días que en el método de riego por superficie, lo que sugiere que según el método el diámetro de la pella puede desarrollarse en más corto tiempo afectando la compactación de la pella. También hay que tomar en cuenta que el radio del tallo donde se forma la pella es directamente proporcional al tamaño final de la pella.

## 5.10. Peso de pella

### 5.10.1. Análisis de varianza de efectos fijos en base al peso de pella en el momento de la cosecha

En la tabla 26 se puede observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 29,19 %, lo cual indica que el estudio se encuentra en el límite de manejo adecuado.

**Tabla 26**

*Análisis de varianza de efectos en base al peso de pella al momento de la cosecha*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico)</b>
Método de riego	1	3306,92	3306,92	1,91	4,75 NS
Variedad	3	242432,94	80810,98	43,84	3,49 **
Método de riego*variedad	3	3499,04	1166,35	0,63	3,49 NS

C.V. = 29,19 %

La tabla 26 también nos indica que el factor método de riego (riego por surcos vs riego por goteo) es no significativo en el análisis de varianza, siendo que no existe diferencia estadísticamente apreciable entre sus medias con respecto al peso obtenido en ambos métodos de riego.

Además de la tabla 26 también se aprecia que el factor variedad es altamente significativo, indicando que el promedio entre variedades si presento diferencias estadísticamente significativas con respecto al peso de los métodos de riego empleados en los brócolis.

También nos indica que la interacción entre el método de riego y las variedades es no significativa, lo que indica que ambos factores son independientes entre sí.

#### **5.10.2. Prueba Duncan en base al peso de pella en el momento de la Cosecha**

La tabla 27 nos muestra que, la variedad con mayor peso de pella a la cosecha fue la variedad "*Pirata*" con 249 g promedio de peso por pella, mientras que la variedad con Khermenor peso de pella a la cosecha fue la variedad "*Diccico*", con un promedio de 42,69 g por pella.

Según Gutierrez (2005), en su investigación tomando diferentes densidades de siembra para el cultivo de brócoli en las variedades Híbridas Green Storm, Montecristo y Pirata, obtuvo resultados con respecto a la variedad Pirata de 0,38 kg, 0,33 kg y 0,31 kg en peso de la inflorescencia con densidades de 30x30 cm, 40x40 cm y 50x50 cm respectivamente

**Tabla 27**

*Prueba de Duncan en base al peso de pella sobre las variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (g)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Pirata	249,00	A
Avenger	246,10	A
Calabresse	50,57	B
Diccico	42,69	B

Por otro lado, Copari (2015), obtuvo resultados para el peso de inflorescencia entre variedades de 82,04 g y 94,88 g para las variedades Diccico y Calabresse respectivamente.

Las diferencias en peso de pella con respecto a la variedad son debidas a su expresión genética de las variedades híbridas, que tienen un porte de pella más espeso en su inflorescencia.

## **5.11. Rendimiento**

### **5.11.1. Análisis de varianza de efectos fijos del rendimiento**

En la siguiente tabla podemos observar que el coeficiente de variabilidad alcanza el 29,25 % de variabilidad entre datos del rendimiento, lo que nos indica que el estudio se encuentra entre el rango de manejo adecuado.

**Tabla 28**

*Análisis de varianza de efectos fijos en base al rendimiento en Kg/m<sup>2</sup>*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F(cal)</b>	<b>F(critico) 5 %</b>
Método de riego	1	0,15	0,15	1,92	4,75 NS
Variedad	3	10,77	3,59	43,66	3,49 **S
Método de riego*variedad	3	0,15	0,05	0,63	3,49 NS

C.V. = 29,25 %

De acuerdo a la tabla 28 se puede observar que el factor método de riego (riego por surcos vs riego por goteo), es no significativo, lo cual indica que el promedio de rendimiento en ambos sistemas no tiene diferencias estadísticas significativas entre sí.

Con respecto a la variedad, el análisis de varianza indica que es altamente significativo, lo cual nos indica que el promedio de rendimiento entre las variedades si tiene diferencias significativas entre sí.

Por último, sobre la interacción de los factores método de riego y variedad, el análisis de varianza nos indica que es no significativo, lo que nos dice que estadísticamente ambos factores no interactúan entre sí.

#### **5.11.2. Prueba de Duncan para el rendimiento según las variedades**

La tabla 29 nos muestra que la variedad que obtuvo el mayor rendimiento por hectárea fue la variedad “*Pirata*”, con 1,66 kg/m<sup>2</sup> y que la variedad con menor rendimiento fue la variedad “*Diccico*”, con una media de 0,28 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 29**

*Prueba de Duncan en base al Rendimiento según el factor variedades*

<b>Variedad</b>	<b>Media (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Duncan (<math>\alpha=5\%</math>)</b>
Pirata	1,66	A
Avenger	1,64	A
Calabresse	0,34	B
Diccico	0,28	B

Al respecto Toledo (2006) en su trabajo reporta rendimientos promedio de inflorescencia principal de entre 20 Tn/ha para la variedad híbrido pirate (Hp) y de 19.08 Tn/ha para la variedad Waltham-29 (W-29), bajo diferentes tratamientos de abonos orgánicos y diferentes densidades de trasplante, observando similitudes con respecto a su rendimiento de variedades híbridas.

Por otro lado, con respecto a las variedades no híbridas Copari (2015) dice sobre su investigación “observamos que el tratamiento con menor rendimiento de todos es el T4, con 2532 kg/ha perteneciente a la variedad De Cicco, mientras que el tratamiento con mayor rendimiento fue el T5 con 4392 kg/ha perteneciente a la variedad Calabrese”.

Basados en los datos recopilados por Toledo (2006) se puede decir que los rendimientos propios de las variedades híbridas como la Pirata fueron inferiores por



0,25 kg/m<sup>2</sup> teniendo en cuenta el resultado obtenido por Toledo de 1,98 kg/m<sup>2</sup> de su variedad pirata, mientras que basados en los resultados obtenidos por Copari (2015) sobre las variedades no híbridas podemos decir que los rendimientos de la variedad Diccico fueron casi idénticos teniendo una diferencia de 0,027 kg/m<sup>2</sup> siendo el rendimiento obtenido por Copari (2015) de su variedad DeCicco de 0,25 kg/m<sup>2</sup> y la obtenida en este trabajo es de 0,28 kg/m<sup>2</sup>, a su vez la variedad Calabrese de Copari (2015) obtuvo un rendimiento de 0,44 kg/m<sup>2</sup> siendo superior al obtenido en este trabajo en 0,1 kg/m<sup>2</sup>.

Se puede observar que la falta de diferencias significativas en el análisis de varianza del rendimiento, considerando la variación en la duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha según el método de riego, tal como se muestra en la tabla 11, y las discrepancias en las calidades del agua entre los diferentes métodos, sugieren una cierta compensación en el desarrollo fisiológico. Esto se evidencia en los resultados presentados en la tabla 11, donde se observa que, a pesar de que los tratamientos bajo el método de riego por goteo experimentaron un desfase en su ciclo de 7 días en comparación con los tratamientos bajo el método de riego por surcos, lograron obtener un rendimiento similar.

Mientras que las diferencias entre variedades son propias de la expresión genética de cada una, observándose que las variedades no híbridas (Calabrese y Diccico) presentan menor rendimiento en comparación con las híbridas (Pirata y Avenger).

## 5.12. Determinación del total de lámina de agua aplicada para cada uno de los tratamientos.

La cantidad total de agua aplicada en cada tratamiento se calculó considerando el tiempo promedio que las plantas de brócoli de cada tratamiento necesitaron para completar su ciclo de desarrollo, desde el trasplante inicial hasta la cosecha de las pellas maduras, en la siguiente tabla se muestran el promedio duración del ciclo de los diferentes tratamientos.

**Tabla 30**

*Duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha por cada uno de los tratamientos*

Promedio de duración del ciclo en el método de riego por surcos				Promedio de duración del ciclo en el método de riego por goteo			
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Calabresse	Diccico	Pirata	Avenger	Calabresse	Diccico	Pirata	Avenger
89 días	82 días	79 días	84 días	93 días	87 días	84 días	94 días

Además, teniendo en cuenta que la lámina bruta en riego por superficie es de 68,6 mm con una frecuencia de riego de 7 días, según se muestra en los cálculos del anexo 8, y que la lámina bruta aplicada en el método de riego por goteo es de 4,2 mm con una frecuencia de riego de 2 días, según se detalla en los cálculos del anexo 7, procedemos a desarrollar la siguiente tabla:

**Tabla 31***Total de lámina aplicada según la duración del ciclo de los diferentes tratamientos*

<b>Método</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Duración del ciclo (días)</b>	<b>Cantidad de días regados (días)</b>	<b>Lamina bruta (mm)</b>	<b>Lamina Total (mm)</b>
<b>Método de riego por surcos</b>	T1(Calabresse)	89	13	68,6	872,2
	T2 (Diccico)	82	12	68,6	803,6
	T3 (Pirata)	79	11	68,6	777,4
	T4 (Avenger)	84	12	68,6	820,0
<b>Método de riego por goteo</b>	T5 (Calabresse)	93	46	4,2	194,6
	T6 (Diccico)	87	44	4,2	184,8
	T7 (pirata)	84	42	4,2	175,7
	T8 (Avenger)	94	47	4,2	197,4

De la tabla 31 al analizar los datos, podemos observar que el tratamiento T7 (variedad Pirata vs riego por goteo) destaca por la menor cantidad de lámina total aplicada, con un total de 175,7 mm, esta cantidad representa un significativo 79,9 % menos que el tratamiento T1 (variedad Calabresse vs riego por surcos), el cual registró una lámina total de 872,2 mm, este contraste evidencia la eficacia del riego por goteo en el tratamiento T7 en comparación con el riego por surcos utilizado en el tratamiento T1.

Con respecto al riego García (2023) nos dice que “La bibliografía indica que el consumo de agua de riego para este cultivo se encuentra estimada en 5000-7000 m<sup>3</sup>/ha” obteniendo el resultados en uso de lámina de riego de entre 5553,44 m<sup>3</sup>/ha hasta 4442,28 m<sup>3</sup>/ha, lo cual equivale a 555,34 l/m<sup>2</sup> y 444,23 l/m<sup>2</sup>, observándose que estos resultados son similares a los obtenidos en este trabajo en el método de riego

por superficie, mientras que son mayores a los obtenidos bajo el método de riego por goteo.

### 5.12.1. Relación entre el total de la lámina aplicada y el rendimiento

La siguiente tabla presenta la productividad y la huella hídrica que se determinó en base al rendimiento obtenido en los diferentes tratamientos y el total de lámina de agua aplicada en estos tratamientos durante el total de la duración de su ciclo descritos en la tabla 31.

**Tabla 32**

*Huella hídrica y productividad del agua en los tratamientos bajo riego por superficie*

<b>Método</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Rendimiento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Huella hídrica l/kg</b>	<b>Productividad del agua en g/l</b>
<b>Método de riego por surcos</b>	T1 (Calabresse)	0,3	2907,33	0,34
	T2 (Diccico)	0,36	2232,22	0,45
	T3 (Pirata)	1,84	422,52	2,37
	T4 (Avenger)	1,74	471,24	2,12
<b>Método de riego por goteo</b>	T5 (Calabresse)	0,38	512,12	1,95
	T6 (Diccico)	0,21	866,70	1,15
	T7 (Pirata)	1,48	118,72	8,42
	T8 (Avenger)	1,54	128,18	7,80

La tabla 32 nos muestra que el tratamiento con la mayor huella hídrica y la menor productividad del agua es el tratamiento T1 (variedad Calabresse con riego por

superficie), con una huella hídrica de 2907,33 litros por kilogramo y una productividad de 0,34 gramos por litro. En contraste, el tratamiento con la menor huella hídrica y la mayor productividad del agua fue el tratamiento T7 (variedad Pirata con riego por goteo), con una huella hídrica de 118,72 litros por kilogramo y una productividad de 8,42 gramos por litro.

En referencia a la productividad del agua, Burbano (2023) reportó una productividad de 4,43 kilogramos por metro cúbico en su variedad Legacy Híbrido, equivalente a 4,43 gramos por litro. Este resultado se obtuvo bajo riego por goteo a campo abierto en la zona semiárida de Cotopaxi, Perú. Es importante destacar que la productividad obtenida en el tratamiento T7 superó la obtenida por Burbano (2023).

Por otro lado, respecto a la huella hídrica, Vázquez y Lambarri (2017) indican que el valor de la huella hídrica requerida para el brócoli es de 170 litros por kilogramo en la subcuenca de Salamanca, Guanajuato. Resulta notable que el valor obtenido en el tratamiento T7 sea inferior al reportado por Vázquez y Lambarri (2017).

Cabe resaltar también que la huella hídrica del tratamiento T7 es 95 % menor que la huella obtenida en el tratamiento T1, resultado que es influenciado por el método de riego por surcos y su eficiencia de aplicación del 30 %, entendiéndose que la diferencia radica en la eficiencia de la aplicación entre ambos métodos, además de la capacidad de producción de las variedades híbridas, observándose que indistintamente del método, las variedades híbridas reportan menor huella hídrica y mayor productividad del agua.

En base a estas afirmaciones y los resultados obtenidos del rendimiento y la duración del ciclo descritos anteriormente podemos decir que la huella hídrica y la productividad del agua descritos para los tratamientos bajo el método de riego por superficie y goteo están relacionados a la eficiencia de aplicación del agua y la duración del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha.

### 5.13. Costos de Producción

El análisis de costos fue efectuado en base a los costos de las practicas agronómicas y del material utilizado en cada uno de los tratamientos a lo largo del ciclo de producción cultivo de brócoli, empezando desde la preparación del terreno hasta la finalización de la cosecha.

**Tabla 33**

*Costos parciales de producción de variedades de brócoli bajo diferentes métodos de riego*

Especificaciones	Riego por Superficie				Riego por Goteo			
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Rdto. medio (kg/m2)</b>	0,30	0,36	1,84	1,74	0,38	0,21	1,48	1,54
<b>Rdto. ajustado -10% (kg/m2)</b>	0,27	0,32	1,66	1,56	0,34	0,19	1,33	1,39
<b>Precio (Bs/kg)</b>	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Beneficio bruto (Bs/m2)</b>	<b>3,21</b>	<b>3,89</b>	<b>19,90</b>	<b>18,76</b>	<b>4,10</b>	<b>2,25</b>	<b>15,95</b>	<b>16,66</b>
<b>Costos fijos (Bs/m2)</b>	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
<b>Costos variables (Bs/m2)</b>	8,51	8,51	8,91	8,91	3,94	3,94	4,34	4,34
<b>Total de costos (Bs/m2)</b>	17,11	17,11	17,51	17,51	12,54	12,54	12,95	12,95
<b>Beneficios netos (Bs/m2)</b>	<b>-13,90</b>	<b>-13,22</b>	<b>2,39</b>	<b>1,25</b>	<b>-8,44</b>	<b>-10,30</b>	<b>3,01</b>	<b>3,72</b>
<b>Relación B/C</b>	0,19	0,23	1,14	1,07	0,33	0,18	1,23	1,29

Los precios obtenidos para el cálculo del beneficio bruto fueron obtenidos de la página Abasto Cruz (2024), teniendo como promedio 12 bolivianos por kg de brócoli.

Se observa de la tabla 31 que el beneficio neto por tratamiento donde se obtiene la mayor rentabilidad por boliviano invertido es en el tratamiento T8 (variedad Avenger vs riego por goteo), teniendo una relación beneficio costo de 1,29 mientras que el tratamiento con menos rentabilidad fue el tratamiento T6 (variedad Diccico vs riego por goteo), con un beneficio costo de 0,18.

Pudiendo observarse también que el beneficio costo de los tratamientos T3, T4, T7 y T8 siendo de los tratamientos en los que se empleó las variedades híbridas tienen un beneficio costo mayor a 1, lo cual nos dice que las variedades Pirata y Avenger tienen por mucho, más rentabilidad que las variedades no híbridas que son las variedades Calabresse y Diccico.



## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados alcanzados y en función de los objetivos específicos planteados e hipótesis planteada, se concluye lo siguiente:

- En promedio, los tratamientos con riego por goteo tuvieron un ciclo de 89 días desde el trasplante hasta la cosecha, mientras que los tratamientos con riego por surcos duraron 83 días, seis días menos que en el método por goteo.
- Las variables agronómicas mostraron influencia del método de riego en el cultivo de brócoli. Bajo riego por surcos, se observó una altura promedio de planta de 84,57 cm, con 24 hojas desarrolladas, un diámetro de tallo de 3,8 cm y un diámetro de pella promedio de 10,6 cm. En contraste, con riego por goteo, se registraron valores menores: altura promedio de planta de 63,33 cm, 19 hojas desarrolladas en promedio, un diámetro de tallo de 2,9 cm y un diámetro de pella promedio de 8,1 cm.
- En cuanto al peso de la pella y rendimiento, no se observaron diferencias significativas entre los métodos de riego. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre variedades. El tratamiento T3 obtuvo el mayor peso de pella y rendimiento, con un promedio de 276,47 g por pella y 1,84 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. En contraste, el tratamiento T6 registró el menor peso por pella y rendimiento, con un promedio de 31,11 g por pella y 0,21 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente.
- En relación a la lámina aplicada, el tratamiento T1 recibió la mayor cantidad, con 872,2 mm, mientras que el tratamiento T7 recibió la menor cantidad, con 175,7

mm, esto representa una reducción del 79,86 % en la lámina aplicada en el tratamiento T7 en comparación con el tratamiento T1.

- El tratamiento con la menor huella hídrica y la productividad del agua más alta es el tratamiento T7 con una huella hídrica de 118,72 l/kg y una productividad de 8,42 g/l, mientras que el tratamiento con mayor huella hídrica y menor productividad del agua es el tratamiento T1 con 2907,33 l/kg de huella hídrica y 0,34 g/l de productividad del agua.

- Se puede concluir que el método de riego afecto a las variedades en su desarrollo, teniendo que el agua de riego aplicada en el método de riego por goteo que contenía altos niveles de carbonatos, sodio y un alto nivel de dureza, retraso y detuvo el desarrollo del crecimiento en altura, formación de hojas, radio de tallo y diámetro de las pellas en los tratamientos bajo el método de riego por goteo, pero la alta frecuencias de riego y el la menor cantidad de lámina aplicada compensaron el desarrollo alargando la duración del ciclo para la formación total de las pellas, lo cual explicaría que no existan diferencias significativas entre los métodos con respecto al peso en gramos de pellas y rendimiento en kg/m<sup>2</sup>.

- El tratamiento más rentable fue el T8, con un beneficio costo de 1,29 Bs, generando ganancias. Por otro lado, el tratamiento menos rentable es T6, con un beneficio costo de 0,18 Bs, lo que equivale a una ganancia nula. Es importante destacar que solo los cultivos híbridos tuvieron un beneficio costo superior a 1, sin importar el método de riego utilizado. Además, los tratamientos con variedades híbridas bajo riego por goteo fueron los más rentables en términos de beneficio costo.

## 7. RECOMENDACIONES

Respecto a las conclusiones mencionadas se recomienda lo siguiente:

- Realizar los análisis de agua de riego y suelo proporcionan una idea inicial de como poder implementar los diferentes métodos de riego, para así programar el riego y la fertilización correcta.
- Para la producción del cultivo de brócoli se recomienda el uso de variedades híbridas como la “Pirata BC 1619” proporcionada por BAYER o la variedad “Avenger de la empresa SAKATA” ya que obtuvieron mayores rendimientos que las variedades no híbridas como la Calabresse y la Diccico.
- Se recomienda el uso del método de riego por goteo ya que desde el punto de vista del cambio climático este es más eficaz en el aprovechamiento del recurso hídrico, disminuyendo de manera considerable la huella hídrica y aumentando la productividad del agua.
- Se recomienda realizar más estudios sobre el efecto de altas cantidades de carbonatos y alta dureza del agua de riego en brócoli.
- Es importante promover la producción del cultivo de brócoli con el uso de bio-insumos tales como el biol, el humus de lombriz, el aola y otros similares, para así aumentar el rendimiento en base a fertilizantes amigables con el medio ambiente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

AbastoCruz frutas y verduras. (2024). *AbastoCruz frutas y verduras*. Recuperado el 30 de Enero de 2024, de © AbastoCruz 2024. Todos los derechos reservados:  
<https://www.abastocruz.com/productos/#:~:text=Br%C3%B3coli,-Precio%20x%201&text=14%2C00%20Bs>.

Acuña Ramirez, C. (Junio de 2014). "Diseño de un sistema integrado de riego superficial (surcos, melgas y cuadros) en el terreno designado como area experimental de la escuela de ingenieria agricola del instituto tecnologico de Costa Rica, Cartago". 49. Cartago, Costa Rica.

APLIMANCHA. (s.f.). *Aplimancha SLU*. Recuperado el 06 de 02 de 2024, de [aplimancha.es](https://aplimancha.es):  
<https://aplimancha.es/producto/brocoli/#:~:text=Variedad%20de%20ciclo%20ta rd%C3%ADo%2C%20lista,tiene%20ya%205%2D6%20hojas>.

Arragan Tancara, F. B. (2016). *Uso del agua de riego por el metodo de riego presurizado*. Bolivia.

Bayer (Pty) Ltd, Chile. (2021). *BAYER Vegetables Conosur*. Obtenido de [https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/productos/brocoli/details.html/broccoli\\_bc1691\\_bolivia\\_seminis\\_all\\_open\\_file\\_fresh\\_market\\_all.html](https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/productos/brocoli/details.html/broccoli_bc1691_bolivia_seminis_all_open_file_fresh_market_all.html)

- Blanco Chura, A. (2017). EFECTO DE TRES NIVELES DE ABONAMIENTO ORGÁNICO LÍQUIDO AERÓBICO. *EFECTO DE TRES NIVELES DE ABONAMIENTO ORGÁNICO LÍQUIDO AERÓBICO*, 25-34. La Paz, Bolivia.
- Burbano Veintimilla, M. I. (Agosto de 2023). Respuesta del cultivo de brocoli (brassica oleracea var italica) a la aplicacion de tres laminas de riego en las terrazas de banco en el campus Salache-UTC. 45. Cotopaxi, Perú.
- Butrón, M. C. (2017). Calibracion de la ecuacion de la FAO penman-monteith para calcular la evapotranspiracion de referencia (Eto) en condiciones de invernadero en el centro experimental de cota cota. 35,58. La Paz, Murillo, Bolivia.
- Castellanos Navarrete, A., Chocobar, A., Cox, R., Govaerts, B., Jespers, N., Sayre, K., & Verhulst, N. (2013). INFILTRACION Guia util para comparar las practicas de manejo de cultivo. 1. Mexico: Centro internacional de mejoramiento de maiz y trigo CIMMYT. Obtenido de <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4029/98828.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chilon, E. (1997). manual de fertilidad de suelos y nutrucion de plantas. En E. Chilon . La Paz: CIDAT.
- Copari Yujra, A. (2015). Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de biol en dos variedades del cultivo de brócoli (brassica oleracea v. itálica) bajo el sistema de riego por goteo en carpa solar. 7. La Paz, Bolivia.

Delgadillo, O., & Perez, L. (2016). Texto de apoyo para capacitacion en riego Medicion de la infiltracion del agua en el suelo Metodo de la doble anilla. 4. Cochabamba, Bolivia: Centro andino para la gestion y uso del agua (Centro AGUA).

Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. catamarca: instituto nacional de tecnologia agropecuaria.

EL DEBER-RURAL. (6 de Marzo de 2017). *EL DEBER*. Obtenido de [https://eldeber.com.bo/rural/la-produccion-de-brocoli-se-estanca\\_95684](https://eldeber.com.bo/rural/la-produccion-de-brocoli-se-estanca_95684)

Esmeralda Moreira, A., & Chila Chila, C. (Febrero de 2021). EFECTO DE LÁMINAS DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL CACAO EN LA CALCETA, MANABI. 29. Calceta.

FAO. (1990). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.

FAOSTAT. (2023). Obtenido de FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Fernandez Gomez, R., Yruela Morillo, M. d., Milla Milla, M., Garcia Bernal, J., Avila Alavarces, R., Gavilan Zafra, P., & Oyonarte Gutierrez, N. (1999). *Manual de riego para agricultores Modulo 4: riego Localizado*. Cordoba, España: Ediciones Ilustres S.L.

Fernandez Gomez, R. (2010). *Manual de Riego para Agricultores módulo 1: Fundamentos de riego*. Sevilla, España: : Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

- Figueredo Fernandez, M. M. (2021). Comportamiento agronomico de tres variedades del cultivo del pimenton (*capsicum annum L.*) bajo condiciones de invernadero y a campo abierto, Lipari-Lapaz. 39. La Paz, Mecapaca, Bolivia.
- Fuentes Yague, J. L., & Garcia Legaspi, G. (1999). *Tecnicas de Riego, Sistemas de Riego en La Agricultura*. Mexico D.F: Aedos S.A.
- Garcia O, A. (Junio de 2012). Criterios modernos para evaluacion de la calidad del agua para riego. *Informaciones agronomicas de hispanoamerica*, 7, 27-36.
- Garcia Mendez, L. S. (2023). *EFFECTO 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*. Huaraz, Peru.
- Gavilanez Luna, F. C., & Farias Chica, S. R. (junio de 2019). Método del Cenirrómetro como alternativa de programación de riego por aspersion en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). *Acta Agronomica*, 68, 29.
- Gomez Espinoza, C. M. (2012). Efecto agronomico de dos variedades de brocoli (*brassica oleraceae l.*) con la interaccion de dos densidades poblacionales de lombriz californiana. 100. La Paz, La Paz, Bolivia.
- Gutierrez Cutipa , Z. F. (2005). Cultivares de brocoli (*brassica oleracea var. italica*) en diferentes distancias de trasplante en epoca de invierno bajo ambiente atemperado. La Paz, Bolivia.

infoagronomo.net. (18 de Julio de 2018). *infoagronomo.net*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2023, de <https://infoagronomo.net/que-es-el-coeficiente-de-cultivo/>

Instituto Nacional de Estadística Bolivia. (2015). Censo Agropecuario 2013. En *Censo agropecuario 2013* (pág. 50). La paz, Bolivia.

Instituto nacional de innovacion agraria. (7 de Septiembre de 2020). *Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA*. Obtenido de [https://pgc-aulavirtual.inia.gob.pe/pluginfile.php/694/mod\\_resource/content/1/MODULO-IIIa.pdf](https://pgc-aulavirtual.inia.gob.pe/pluginfile.php/694/mod_resource/content/1/MODULO-IIIa.pdf)

INTAGRI S.C. (s.f.). Recuperado el 12 de Noviembre de 2023, de Intagri S.C. © 2001: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/el-mantenimiento-de-los-cabezales-de-riego?p=registro#>

La Vanguardia. (22 de Marzo de 2022). *La Vanguardia-Comer*. Obtenido de a Vanguardia Ediciones, SLU Todos los derechos reservados.: <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20211229/1003/alimentos-brocoli-valor-nutricional-beneficios-propiedades.html>

Lagos R, O., Manriquez P, C., Contreras U, J., Valdivia C, W., Souto E, C., Perez B, A., & Murillo L, H. (s.f.). Manual sistemas de riego y manejo hidrico de cultivos. 25. Santiago, Chile: Departamento de recursos hidricos de la facultad de ingenieria agricola de la universidad de concepcion. Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de



<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/32796/MANUAL.pdf?sequ>

*Libro blanco del agua en españa.* (2000). Madrid, España: Ministerio de medio ambiente. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/spa192539.pdf>

Luna Calle , V. (2023). RIEGO SUBSUPERFICIAL ad libitum EN EL CULTIVO DE COL RIZADA. 51-52. La Paz, Bolivia.

Mamani Rojas, V. (2014). Evaluacion de tres densidades de siembra en dos variedades de brocoli (brassica oleracea) en el ambiente atemperado en el centro experimental de cota cota. 2. La Paz, Bolivia.

Mancilla Villa, O., Fregoso Zamorano, B., Hueso Guerrero, J., Guevara Gutierrez, R., Palomera Garcia, C., Olguin Lopez, J., . . . Fallad Chavez, J. (Junio de 2015). Metales pesados en el agua de riego de la cuenca del rio Ayuquilla-Tuxacacuesco-Armeria. *Revista de analisis cuantitativo y estadistico*, II(3), 238.

Maroto Borrego, J. V. (2002). *Horticultura herbacea especial* (Quinta ed., Vol. V). Madrid, Barcelona, Mexico: Ediciones Mundi-Empresa.

Martinez Orihuela, S. T. (2006). EVALUACIÓN DEL ABONO LÍQUIDO EN EL MANEJO ECOLÓGICO. *EVALUACIÓN DEL ABONO LÍQUIDO EN EL MANEJO ECOLÓGICO*, 68-70. Coroico, La paz, Bolivia.

Martinez Ballesta, M. C., Lopez Perez, L., Perez Balibrea, S., Moreno, D., Garcia Viguera, C., & Carvajal, M. (2008). cultivo de broculi con aguas salinas. ¿es posible algun beneficio? *Agricola Vaergel*, 315.

Martinez, S., & Garbi, M. (2020). Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícolas del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario Contenidos teóricos Unidad temática E EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HIDROLÓGICO DEL SUELO. 14. La Plata, Argentina. Obtenido de [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/67875/mod\\_resource/content/1/08%20-%20Unidad%20tem%C3%A1tica%20E%20-%20Evapotranspiraci%C3%B3n%20y%20balance%20hidrologico%20del%20suelo.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/67875/mod_resource/content/1/08%20-%20Unidad%20tem%C3%A1tica%20E%20-%20Evapotranspiraci%C3%B3n%20y%20balance%20hidrologico%20del%20suelo.pdf)

Mendoza Retana, S. S., Cervantes Vazquez, M. G., Valenzuela Garcia, A. A., Guzman Silos, T. L., Orona Castillo, I., & Cervantez Vazquez, T. J. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126. Obtenido de <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2012). *Inventario nacional de sistemas de riego 2012* (Primera ed., Vol. I). Cochabamba, Bolivia. Obtenido de <https://www.bivica.org/files/sistemas-riego-inventario.pdf>

Núñez Leonardo, A., & Hurtado Mena, E. (2015). *Manual de calculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima, Peru: DIGAR direccio general de infreestructura agraria y riego. Obtenido de [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)

Prieto Mendez, J., Gonzalez Ramirez, C., Roman Gutierrez, A., & Prieto Garcia, F. (2009). contaminacion y fitotoxicidad en las plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29-44.

Riegos Iberia Regaber, S.A. (21 de Octubre de 2022). Recuperado el Enero de 2024, de <https://regaber.com/blog/calidad-agua-riego/>

RKD PIVOT. (30 de agosto de 2021). *RKD Pivot*. Obtenido de <https://rkd.es/blog/coeficiente-de-uniformidad/#:~:text=El%20coeficiente%20de%20uniformidad%20sirve,%25%20indica%20que%20es%20excelente.>

Rodriguez Palleres, X., & Rojas Gonzales, F. (Diciembre de 2022). Valor nutricional de hojas y tallos de brócoli, apio y betarraga disponibles en un mercado mayorista de Santiago de Chile. *Memorias del instituo de investigaciones en ciencias de la salud*, XX(3). Obtenido de [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1812-95282022000300097](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1812-95282022000300097)

Rojas Ponce, F. (2017). *Botanica Sistemática*. La Paz, Bolivia.

Rueda, D. (2015). *Botanica sistemática curso interactivo* (Quinta ed.). Quinto, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10180/1/Bot%C3%A1nica%20sist%C3%A9mica.pdf>

SAKATA. (2023). *Grupo Sakata Seed de México S.A. de C.V.* Obtenido de sakata.com.mx: <https://www.sakata.com.mx/producto/avenger/>

*Servicio Nacional de Meteorología.* (2024). Obtenido de SENAMHI: <https://senamhi.gob.bo/index.php/clima>

Swistock, B. (17 de Agosto de 2021). *PennState Extension.* Recuperado el 16 de Enero de 2024, de Interpretacion de analisis de agua de riego: <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>

Toledo H, J. (2003). *Cultivo del brocoli.* Lima, Peru: Instituto nacional de investigacion agraria-INIA.

Toledo Yupanqui, R. J. (2006). Evaluacion agronomica en variedades de brocoli (*Brassica oleracea L.*) bajo abonos organicos y densidades de trasplante. La Paz, Bolivia .

Uribe C, H., & Maldonado I, I. (2000). Programacion de riego ni de mas ni de menos . *Tierra adentro N°34,* 28. Obtenido de biblioteca@inia.cl: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/5751>

Valdivielso, A. (2024). *iAgua.es.* Recuperado el 15 de Enero de 2024, de <https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-riego-goteo>

Vazquez del Mercado Arribas, R., & Lambarri Belendez, J. (2017). Huella hídrica en México: Análisis y perspectiva. Ciudad de Mexico, Estado de Mexico, Mexico: Jiutepec.

Vilca Ortiz, J. A. (2019). comportamiento de cinco cultivares de brocoli (*brssica oleracea var.italica*), en tres epocas de trasplante. Arequipa, Peru.

Zamora, E. (2016). El cultivo del brocoli. 2-4. Hermosillo, Sonora, Mexico: Universidad de sonora.

Zenteno Morales, P. (2020). Comportamiento de dos variedades hibridas de brocoli (*Brassica oleraceae L. var.Plenk*) con dos niveles de fertilizacion inorganica y dos densidades de plantacion en la comunidad de erquis norte. 21. Tarija, Bolivia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Récord de temperaturas según el registro del SENHAMI (2002-2018)

Mes	T max	T min	T med
Junio	25,3	2,3	13,8
Julio	23,5	1,4	12,4
Agosto	22,9	2,3	12,6
Septiembre	22,7	3,5	13,1
Octubre	24,9	4,9	14,9
Noviembre	25,5	7,1	16,3
Diciembre	23,1	7,2	15,2
Enero	26,1	9,3	17,7
Febrero	25,4	8,9	17,1
marzo	24,5	8,4	16,5
Abril	24,4	5,5	14,9
Mayo	23,7	3,0	13,4

### Anexo 2. Resultados de la prueba de coeficiente de uniformidad

Volumen de agua recolectado en 22,5 min				
	primer lateral	lateral 1/3	lateral 2/3	ultimo lateral
primer emisor	400 ml	430 ml	450 ml	430 ml
emisor a 1/3	350 ml	380 ml	400 ml	430 ml
emisor a 2/3	350 ml	380 ml	400 ml	400 ml
ultimo emisor	320 ml	350 ml	400 ml	400 ml

Caudal en L/h en cada uno de los puntos				
	primer emisor	emisor 1/3	emisor 2/3	ultimo emisor
primer lateral	1,23	1,32	1,38	1,32
lateral 1/3	1,08	1,17	1,23	1,32
lateral 2/3	1,08	1,17	1,23	1,23
ultimo lateral	0,98	1,08	1,23	1,23

### Cálculo del coeficiente de uniformidad

Donde se calcula inicialmente el caudal al 25% ( $Q_{(25\%)}$ )

$$Q_{(25\%)} = \frac{Q_{min1} + Q_{min2} + Q_{min3} + Q_{min4}}{4}$$

$$Q_{(25\%)} = \frac{1,08 + 1,08 + 1,08 + 0,98}{4}$$

$$Q_{(25\%)} = 1,05 \text{ l/h}$$

Luego calculamos el caudal medio ( $Q_{med}$ )

$$Q_{(med)} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \dots Q_n}{4}$$

$$Q_{(med)} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \dots Q_n}{4}$$

$$Q_{(med)} = \frac{19,29}{4}$$

$$Q_{(med)} = 1,21 \text{ l/h}$$

Teniendo al final que el Coeficiente de uniformidad (CU) es de:

$$CU = \frac{Q_{(25\%)}}{Q_{(med)}} * 100$$

$$CU = 87,40$$

### Anexo 3. Datos de campo en bruto

#### Prueba de germinación

Cantidad de semillas germinadas				
Tiempo	Calabresse	Diccico	Pirata	Avenger
48 horas	162	165	151	189
72 horas	190	184	198	195

#### Porcentaje de prendimiento

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	91,7	100,0	95,2	95,63
Riego por superficie	Diccico	100,0	98,8	90,5	96,43
Riego por superficie	Pirata	97,6	94,0	100,0	97,22
Riego por superficie	Avenger	95,2	97,6	97,6	96,83
Riego por goteo	Calabresse	97,6	97,6	98,8	98,02
Riego por goteo	Diccico	96,4	97,6	98,8	97,62
Riego por goteo	Pirata	100,0	97,6	100,0	99,21
Riego por goteo	Avenger	100,0	98,8	98,8	99,21



### Altura de planta a los 64 días después del trasplante

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	77,1	98,5	88,3	87,96
Riego por superficie	Diccico	101,8	96,8	89,5	96,00
Riego por superficie	Pirata	77,4	73,3	74,3	74,96
Riego por superficie	Avenger	77,5	81,8	78,5	79,25
Riego por goteo	Calabresse	76,8	75,8	58,8	70,42
Riego por goteo	Diccico	84,3	69,3	69,3	74,25
Riego por goteo	Pirata	59,5	50,8	47,8	52,67
Riego por goteo	Avenger	73,0	47,5	47,0	55,83

### Número de hojas a los 79 días después del trasplante

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	21,0	20,8	30,5	24,08
Riego por superficie	Diccico	35,8	27,0	24,5	29,08
Riego por superficie	Pirata	19,8	19,8	16,8	18,75
Riego por superficie	Avenger	26,8	21,8	24,5	24,33
Riego por goteo	Calabresse	19,3	29,8	15,5	21,50
Riego por goteo	Diccico	21,8	25,0	22,8	23,17
Riego por goteo	Pirata	15,8	16,0	14,8	15,50
Riego por goteo	Avenger	19,3	17,3	18,3	18,25

### **Diámetro del tallo a los 79 días después del trasplante**

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	3,4	3,8	3,7	3,63
Riego por superficie	Diccico	4,1	3,4	3,5	3,65
Riego por superficie	Pirata	3,1	4,4	3,8	3,74
Riego por superficie	Avenger	3,8	4,0	4,3	4,03
Riego por goteo	Calabresse	3,3	3,4	2,7	3,13
Riego por goteo	Diccico	2,5	2,3	2,6	2,45
Riego por goteo	Pirata	3,3	2,8	3,2	3,10
Riego por goteo	Avenger	3,6	2,7	2,8	2,99

### **Peso de pella a la cosecha**

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	39,8	48,3	44,5	44,17
Riego por superficie	Diccico	57,0	47,1	58,6	54,26
Riego por superficie	Pirata	263,0	299,3	267,1	276,46
Riego por superficie	Avenger	199,9	190,1	391,2	260,42
Riego por goteo	Calabresse	55,5	66,1	49,3	56,98
Riego por goteo	Diccico	33,3	30,0	30,1	31,11
Riego por goteo	Pirata	193,2	257,8	213,6	221,54
Riego por goteo	Avenger	235,4	235,9	224,0	231,79

### Diámetro de pella a la cosecha

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	67,6	77,9	75,1	73,54
Riego por superficie	Diccico	70,2	80,0	87,4	79,17
Riego por superficie	Pirata	13,,5	139,9	139,5	138,98
Riego por superficie	Avenger	102,0	134,3	166,1	134,12
Riego por goteo	Calabresse	61,5	50,3	31,4	47,72
Riego por goteo	Diccico	67,1	55,9	48,7	57,25
Riego por goteo	Pirata	110,3	103,2	99,1	104,22
Riego por goteo	Avenger	146,0	94,2	107,8	115,98

### Rendimiento en Kg/m<sup>2</sup>

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	0,27	0,32	0,30	0,29
Riego por superficie	Diccico	0,38	0,31	0,39	0,36
Riego por superficie	Pirata	1,75	2,00	1,78	1,84
Riego por superficie	Avenger	1,33	1,27	2,61	1,74
Riego por goteo	Calabresse	0,37	0,44	0,33	0,38
Riego por goteo	Diccico	0,22	0,20	0,20	0,21
Riego por goteo	Pirata	1,29	1,72	1,42	1,48
Riego por goteo	Avenger	1,57	1,57	1,49	1,55

### Duración promedio del ciclo desde el trasplante hasta la cosecha

Método de riego	Variedad	I	II	III	media
Riego por superficie	Calabresse	90,3	88,3	80,0	86,18
Riego por superficie	Diccico	82,1	80,6	84,9	82,56
Riego por superficie	Pirata	78,9	79,9	78,6	79,13
Riego por superficie	Avenger	75,3	89,0	87,2	83,85
Riego por goteo	Calabresse	89,1	88,9	99,5	92,52
Riego por goteo	Diccico	83,8	91,7	83,7	86,39
Riego por goteo	Pirata	79,6	87,1	84,4	83,69
Riego por goteo	Avenger	90,4	95,6	96,3	94,10

## Anexo 4. Análisis de varianza realizados con el software InfoStat

### - Porcentaje de prendimiento

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% de prendimiento	24	0,29	0,00	3,09

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	43,83	11	3,98	0,44	0,9082
método de riego	23,60	1	23,60	9,35	0,0378
(método de riego>repetición..					
método de riego>repetición..	10,10	4	2,53	0,28	0,8864
variedad	8,64	3	2,88	0,32	0,8126
método de riego*variedad	1,48	3	0,49	0,05	0,9825
Error	108,87	12	9,07		
Total	152,70	23			

#### Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 2,5254 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.
goteo	98,50	12	0,46 A
superficie	96,52	12	0,46 B

#### Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 9,0726 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.
Pirata	98,20	6	1,23 A
Avenger	98,00	6	1,23 A
Diccico	97,02	6	1,23 A
calabresse	96,82	6	1,23 A

#### Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 9,0726 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.
goteo	Pirata	99,20	3	1,74 A
goteo	Avenger	99,20	3	1,74 A
goteo	calabresse	98,00	3	1,74 A
goteo	Diccico	97,60	3	1,74 A
superficie	Pirata	97,20	3	1,74 A
superficie	Avenger	96,80	3	1,74 A
superficie	Diccico	96,43	3	1,74 A
superficie	calabresse	95,63	3	1,74 A

- **Altura de planta a los 64 días después del trasplante**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
altura	24	0,92	0,84	8,53

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)						
Modelo		5234,68	11	475,88	11,96	0,0001
método de riego		2707,25	1	2707,25	15,08	0,0178
(método de riego>repetición..						
método de riego>repetición..		718,05	4	179,51	4,51	0,0187
variedad		1779,13	3	593,04	14,90	0,0002
método de riego*variedad		30,25	3	10,08	0,25	0,8575
Error		477,58	12	39,80		
Total		5712,26	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 179,5129 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.	
superficie	84,57	12	3,87	A
goteo	63,33	12	3,87	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 39,7985 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.	
Diccico	85,17	6	2,58	A
Calabresse	79,22	6	2,58	A
Avenger	67,55	6	2,58	B
Pirata	63,85	6	2,58	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 39,7985 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.		
superficie	Diccico	96,03	3	3,64	A	
superficie	Calabresse	87,97	3	3,64	A	B
superficie	Avenger	79,27	3	3,64		B C
superficie	Pirata	75,00	3	3,64		C
goteo	Diccico	74,30	3	3,64		C
goteo	Calabresse	70,47	3	3,64		C
goteo	Avenger	55,83	3	3,64		D
goteo	Pirata	52,70	3	3,64		D

- **Número de hojas a los 72 días después del trasplante**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
número de hojas	24	0,69	0,40	19,05

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	459,33	11	41,76	2,38	0,0760
método de riego	130,67	1	130,67	8,81	0,0412
(método de riego>repetición..					
método de riego>repetición..	59,33	4	14,83	0,84	0,5231
variedad	252,00	3	84,00	4,78	0,0204
método de riego*variedad	17,33	3	5,78	0,33	0,8045
Error	210,67	12	17,56		
Total	670,00	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 14,8333 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.	
superficie	24,33	12	1,11	A
goteo	19,67	12	1,11	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 17,5556 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.	
Diccico	26,33	6	1,71	A
Calabresse	23,00	6	1,71	A
Avenger	21,33	6	1,71	A B
Pirata	17,33	6	1,71	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 17,5556 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.	
superficie	Diccico	29,33	3	2,42	A
superficie	Avenger	24,67	3	2,42	A B
superficie	Calabresse	24,33	3	2,42	A B
goteo	Diccico	23,33	3	2,42	A B C
goteo	Calabresse	21,67	3	2,42	A B C
superficie	Pirata	19,00	3	2,42	B C
goteo	Avenger	18,00	3	2,42	B C
goteo	Pirata	15,67	3	2,42	C

- **Diámetro del tallo a los 72 días después del trasplante**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro de tallo	24	0,77	0,55	11,73

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<u>(Error)</u>						
Modelo		607,13	11	55,19	3,59	0,0187
método de riego		428,42	1	428,42	29,93	0,0054
(método de riego>repetición..						
método de riego>repetición..		57,25	4	14,31	0,93	0,4779
variedad		72,53	3	24,18	1,57	0,2469
método de riego*variedad		48,93	3	16,31	1,06	0,4015
Error		184,31	12	15,36		
Total		791,44	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 14,3121 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.	
superficie	37,63	12	1,09	A
goteo	29,18	12	1,09	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 15,3593 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.	
Avenger	35,12	6	1,60	A
Pirata	34,23	6	1,60	A
Calabresse	33,77	6	1,60	A
Diccico	30,52	6	1,60	A

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 15,3593 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.		
superficie	Avenger	40,30	3	2,26	A	
superficie	Pirata	37,43	3	2,26	A	B
superficie	Diccico	36,53	3	2,26	A	B
superficie	Calabresse	36,27	3	2,26	A	B
goteo	Calabresse	31,27	3	2,26		B C
goteo	Pirata	31,03	3	2,26		B C
goteo	Avenger	29,93	3	2,26		B C
goteo	Diccico	24,50	3	2,26		C



- **Peso de pella a la cosecha**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
peso	24	0,92	0,85	29,19

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<u>(Error)</u>						
Modelo		256154,39	11	23286,76	12,63	0,0001
método de riego		3306,92	1	3306,92	1,91	0,2388
(método de riego>repetición..						
método de riego>repetición..		6915,48	4	1728,87	0,94	0,4748
variedad		242432,94	3	80810,98	43,84	<0,0001
método de riego*variedad		3499,04	3	1166,35	0,63	0,6079
Error		22117,65	12	1843,14		
Total		278272,04	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 1728,8694 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.
superficie	158,83	12	12,00 A
goteo	135,35	12	12,00 A

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 1843,1379 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.
Pirata	249,00	6	17,53 A
Avenger	246,10	6	17,53 A
Calabresse	50,57	6	17,53 B
Diccico	42,69	6	17,53 B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 1843,1379 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.
superficie	Pirata	276,47	3	24,79 A
superficie	Avenger	260,42	3	24,79 A
goteo	Avenger	231,79	3	24,79 A
goteo	Pirata	221,54	3	24,79 A
goteo	Calabresse	56,98	3	24,79 B
superficie	Diccico	54,26	3	24,79 B
superficie	Calabresse	44,17	3	24,79 B
goteo	Diccico	31,11	3	24,79 B

- **Diámetro de la pella a la cosecha**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
diámetro	24	0,93	0,87	13,71

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)						
Modelo		27472,23	11	2497,48	15,08	<0,0001
método de riego		3797,90	1	3797,90	6,28	0,0664
(método de riego>repetición..						
método de riego>repetición..		2419,77	4	604,94	3,65	0,0361
variedad		21026,12	3	7008,71	42,33	<0,0001
método de riego*variedad		228,43	3	76,14	0,46	0,7154
Error		1986,89	12	165,57		
Total		29459,12	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 604,9437 gl: 4

método de riego	Medias	n	E.E.	
superficie	106,45	12	7,10	A
goteo	81,29	12	7,10	A

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 165,5744 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.	
Avenger	125,05	6	5,25	A
Pirata	121,60	6	5,25	A
Diccico	68,21	6	5,25	B
Calabresse	60,63	6	5,25	B

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 165,5744 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.		
superficie	Pirata	138,98	3	7,43	A	
superficie	Avenger	134,12	3	7,43	A	
goteo	Avenger	115,98	3	7,43	A	B
goteo	Pirata	104,22	3	7,43		B
superficie	Diccico	79,17	3	7,43		C
superficie	Calabresse	73,54	3	7,43		C
goteo	Diccico	57,25	3	7,43		C D
goteo	Calabresse	47,72	3	7,43		D

- **Rendimiento en Kg/m<sup>2</sup>**

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
kg/m <sup>2</sup>	24	0,92	0,85	29,25

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<u>(Error)</u>						
Modelo		11,38	11	1,03	12,59	0,0001
metodo de riego		0,15	1	0,15	1,92	0,2378
(método de riego>repetición..						
método de riego>repetición..		0,31	4	0,08	0,94	0,4733
variedad		10,77	3	3,59	43,66	<0,0001
método de riego*variedad		0,15	3	0,05	0,63	0,6115
Error		0,99	12	0,08		
Total		12,37	23			

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0774 gl: 4

metodo de riego	Medias	n	E.E.	
superficie	1,06	12	0,08	A
goteo	0,90	12	0,08	A

**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0822 gl: 12

variedad	Medias	n	E.E.	
Pirata	1,66	6	0,12	A
Avenger	1,64	6	0,12	A
Calabresse	0,34	6	0,12	B
Diccico	0,28	6	0,12	B

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0822 gl: 12

método de riego	variedad	Medias	n	E.E.	
superficie	Pirata	1,84	3	0,17	A
superficie	Avenger	1,74	3	0,17	A
goteo	Avenger	1,54	3	0,17	A
goteo	Pirata	1,48	3	0,17	A
goteo	Calabresse	0,38	3	0,17	B
superficie	Diccico	0,36	3	0,17	B
superficie	Calabresse	0,30	3	0,17	B
goteo	Diccico	0,21	3	0,17	B

## Anexo 5. Pruebas de laboratorio

### Análisis físico-químico de suelos obtenidos del laboratorio de L.A.F.A.S.A



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
**LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)**

**LAFASA**



laboratorio de la  
 Facultad de Agronomía  
 en Suelos y Aguas

**RES: FAC.AGRO.LAB. N°37**

**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS**

**INTERESADO:** Ernesto Vasquez Ledezma  
**SOLICITUD:** LAF 27\_22  
**FECHA DE ENTREGA:** 07/04/2022  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
 Municipio Mecapaca  
 Provincia Murillo  
 Comunidad Lipari

	PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
<b>TEXTURA</b>	Arena	%	41	Bouyoucos
	Limo	%	27	
	Arcilla	%	32	
	Clase Textural	-	Franco Arcilloso	
	<b>Densidad Aparente</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.176	Probeta
	<b>Porosidad</b>	%	40	Picnómetro
	<b>Humedad CC</b>	%	23	Ollas a presión de Richards
	<b>Humedad PMP</b>	%	16	Ollas a presión de Richards
	<b>Infiltración</b>	cm/h	0.4	Cálculo
	<b>pH en H<sub>2</sub>O relación 1:5</b>	-	6.49	Potenciometría
	<b>Conductividad eléctrica en agua 1:5</b>	mmhos/cm	0.14	Potenciometría
	<b>Potasio intercambiable</b>	meq/100g S.	0.31	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
	<b>Bases intercambiables</b>	meq/100g S.	7.43	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
	<b>Nitrógeno total</b>	%	0.21	Kjendahl
	<b>Materia orgánica</b>	%	2.90	Walkley y Black
	<b>Fósforo disponible</b>	ppm	89.11	Espectrofotometría UV-Visible



*[Signature]*  
 Ph.D. Roberto Miranda Casas  
**LABORATORIO DE SUELOS**

**Dirección:** Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,  
**Telf. IIAREN:** 2484647 - 74016356 - 73075326 • **E-mail:** lafasa.suelos@gmail.com  
**Página web:** agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

# Análisis químico de aguas (muestra del rio Lipari) obtenido en el laboratorio del L.C.A

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 90/23

Página 1 de 2

## INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE RÍO A 90/23

Solicitante: **Ernesto Vasquez Ledezma**  
Dirección del cliente: Urbanización Mirador de Sur, Nro. 10. Achocalla - Cañuma  
Procedencia de la muestra: Comunidad Santa Aquilina/ Bajo Lipari - Mecapaca  
Provincia: Murillo  
Departamento: La Paz  
Punto de muestreo: **Río La Paz- Bajo Lipari, Comunidad Santa Aquilina**  
Responsable del muestreo: Ernesto Vasquez Ledezma  
Fecha de muestreo: 17 de agosto de 2023  
Hora de muestreo: 08:30  
Fecha de recepción de la muestra: 17 de agosto de 2023  
Fecha de ejecución del ensayo: Del 17 al 29 de agosto, 2023  
Caracterización de la muestra: Agua de Río  
Tipo de muestra: Simple  
Envase: Botella Pet de un litro  
Código LCA: 90- 1  
Código original : IMR - Agua de Río

### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	1MR - Agua de Río 90- 1
Alcalinidad total	EPA 310.1	mg CaCO <sub>3</sub> /l	5,0	365
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	81
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1245
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,0	193
Fósforo total	EPA 365.2	mgP-PO <sub>4</sub> /l	0,010	6,0
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO <sub>3</sub> /l	0,30	0,75
pH	EPA 150.1		1 - 14	7,8
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	20
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	95
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,00091
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,0055

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)  
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 04 de Septiembre de 2023

JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

# Análisis químico de aguas (muestra del pozo de la comunidad Santa Aquilina) obtenido en el laboratorio del L.C.A

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 90/23

Página 2 de 2

## INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE POZO A 90/23

Solicitante:	<b>Ernesto Vasquez Ledezma</b>
Dirección del cliente:	Urbanización Mirador de Sur, Nro. 10, Achocalla - Cañuma
Procedencia de la muestra:	Comunidad Santa Aquilina/ Bajo Lipari - Mecapaca
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	<b>Pozo - Bajo Lipari, Comunidad Santa Aquilina</b>
Responsable del muestreo:	Ernesto Vasquez Ledezma
Fecha de muestreo:	17 de agosto de 2023
Hora de muestreo:	08:30
Fecha de recepción de la muestra:	17 de agosto de 2023
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 17 al 29 de agosto, 2023
Caracterización de la muestra:	Pozo a 100 del Río Lipari
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella Pet de un litro
Código LCA:	90- 2
Código original :	<b>IMP - Agua de Pozo</b>

### Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	IMP - Agua de Pozo 90- 2
Alcalinidad total	EPA 310.1	mg CaCO <sub>3</sub> /l	5,0	550
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	65
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1862
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,0	617
Fósforo total	EPA 365.2	mgP-PO <sub>4</sub> /l	0,010	0,023
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO <sub>3</sub> /l	0,30	< 0,30
pH	EPA 150.1		1 - 14	7,6
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	12
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	219
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	< 0,00050
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	< 0,0020

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

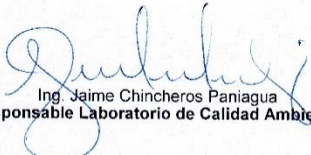
EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.

La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 04 de Septiembre de 2023



  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

## Anexo 6. Parámetros de calidad del agua de riego

Parámetros	Grado de preocupación	Notas
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	Bajo 30 mg/L o sobre 100 mg/L	La inyección de ácido se utiliza para tratar la alta alcalinidad
Cloro (Cl)	Sobre 30 mg/L (plantas sensibles), sobre 100 mg/L la mayoría de plantas	tratamiento de dilución, osmosis inversa o destilación
Conductividad eléctrica (EC)	Sobre 1,0 Mohms/cm (plántulas), sobre 1,5 Mohms/cm (otras plantas)	Típicamente causada por sales o durezas elevadas
Dureza total (Ca y Mg)	Bajo 50 mg/L o sobre 150 mg/L	Problemas de obstrucción de equipo y de manchas foliares a niveles superiores a 150 mg/L. tratamiento con ablandador de agua, pero puede resultar en un aumento de sodio
Fosforo (P)	por encima de 5,0 mg/L puede causar deficiencias de nutrientes. Los niveles superiores a 1,0 mg /L son problemáticos para el agua de descarga	La mayoría de las veces se reduce mediante la dilución con otras fuentes de agua
Nitrato-Nitrógeno (NO <sub>3</sub> -N)	no es preocupante para el crecimiento de las plantas. Los niveles superiores a 5,0 mg/L indican una posible contaminación que puede afectar a otros usos del agua	Puede variar significativamente a lo largo del año. Los nitratos superiores a 5 mg/L pueden indicar problemas de contaminación más amplios
Potasio (K)	No hay un alto nivel de preocupación por el crecimiento de las plantas	Los niveles bajos o la baja disponibilidad debido al pH pueden limitar la producción
pH	Bajo 5,0 o sobre 7,0	Debe interpretarse junto al nivel de alcalinidad
Sodio	sobre 50 mg/L	Ver opciones de tratamiento para el cloro

Fuente: Adaptado de Swistock, B. (17 de agosto de 2021). *PennState Extension*. Recuperado el 16 de Enero de 2024, de Interpretación de análisis de agua de riego: <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>.

## Anexo 7. Cálculo de Frecuencia y tiempo de riego del método por goteo

El valor de la  $E_{to}$  se determinó basándose en los resultados de evapotranspiración obtenidos por Butron (2017) en los invernaderos de Cota cota, determinándose a emplear un promedio de  $E_{to} = 2 \text{ mm/día}$ .

### i) Procedimiento de programación del riego

Aplicando el método empleado por Pizarro descrito por Arragan (2016)

#### a) Cálculo del coeficiente de localización (KI)

Teniendo como radio foliar del brócoli ( $r_f$ ) = 0,20 m

Una densidad de siembra ( $d_{(siembra)}$ ) de 0,15  $\text{m}^2$ .

La fracción del área sombreada ( $A$ ) =  $\pi \cdot (r_f)^2 / d_{(siembra)}$

$$(A) = \pi \cdot (0,25 \text{ m})^2 / 0,15 \text{ m}^2$$

$$(A) = 0,84$$

Se empleo un promedio de los resultados de las distintas ecuaciones para la obtención de  $K_r$ .

Formula	Autor	Resultado
$KI=1.34 \cdot A$	Aljibury	1,12
$KI=0,1+A$	Decroix	0,93
$KI=A+0,5 \cdot (1-A)$	Hoare	0,91
$KI=A+0,15 \cdot (1-A)$	Keller	0,86
	Promedio (ki)	0,96



**b) Cálculo de la necesidad neta de riego (Ln)**

Teniendo como Kc del cultivo del brócoli = 1,05 según las tablas de la (FAO)

$$Etc = Eto * Kc$$

$$Etc = 2 \text{ mm/día} * 1,05$$

$$Etc = 2,1 \text{ mm/día}$$

Por lo tanto:

Teniendo en cuenta el coeficiente de variabilidad climática Kvc de 1,15 y el coeficiente localización KI de 0,96.

$$Ln = Etc * KI * Kvc$$

$$Ln = 2,1 \text{ mm/día} * 0,96 * 1,15$$

$$Ln = 2,32 \text{ mm/día}$$

**c) Cálculo de la lámina bruta (Lb)**

Teniendo en cuenta una eficiencia de aplicación (Ea) de 90 % y el coeficiente de uniformidad (CU) de 87.4%.

$$Lb = \frac{Nn}{(1-k) * CU}$$

Donde K representa el valor mayor entre K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub>. El valor de K<sub>1</sub> viene asociado con las pérdidas de agua por percolación profunda y el valor de K<sub>2</sub> con las necesidades de lavado de las sales contenidas en el agua de riego. Teniendo como K<sub>1</sub>:

$$K_1 = 1 - Ea$$

$$K_1 = 1 - 0,95$$

$$K_1 = 0,05$$

Mientras que  $K_2$ :

Siendo  $CE_i = 1.862$  dS/m y  $CE_e = 2.8$  dS/m según tablas obtenidas de Pizarro (1990).

$$K_2 = LR = \frac{CE_i}{2 * CE_e}$$

$$K_2 = \frac{1,862}{2 * 2,8}$$

$$K_2 = 0,33$$

Donde:

LR = Necesidades de lavado (fracción)

$CE_i$  = Conductividad eléctrica del agua de riego

$CE_e$  = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, valor que se pretende obtener después del lavado y que depende de la tolerancia del cultivo a la salinidad.

Teniendo en cuenta que  $K_2 > K_1$  se elige  $K_2$

Por lo tanto:

$$Lb = \frac{2,32 \text{ mm/día}}{(1-0.33)*0.874}$$

$$Lb = 3,98 \text{ mm/día}$$

## ii) Cálculo de la frecuencia de riego

El cálculo de la frecuencia de riego (F) se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{Lb}{Etc}$$

$$F = \frac{3,98 \text{ mm/día}}{2,1 \text{ mm/día}}$$

$$F = 1,89 \text{ días}$$

$$F = 2 \text{ días}$$

Corrigiendo la lámina aplicada:

$$Lb_{(\text{corregida})} = F \cdot \text{Etc}$$

$$Lb_{(\text{corregida})} = 2 \text{ días} \cdot 2,1 \text{ mm/día}$$

$$Lb_{(\text{corregida})} = 4,2 \text{ mm}$$

### iii) Cálculo del tiempo de aplicación

El tiempo de aplicación se calculó mediante la siguiente ecuación tomando como caudal nominal del gotero  $q_e = 1.2 \text{ l/h}$  a una presión de 3 bar y un espacio entre plantas e hileras (ds) de  $0,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$ :

$$Tr = \frac{Lb_{(\text{corregida})}}{q_e / (ds)}$$

$$Tr = \frac{4,2 \text{ l/m}^2}{(1,2 \text{ l/hora}) / (0,5\text{m} \cdot 0,3\text{m})}$$

$$Tr = 0,53 \text{ horas}$$

$$Tr = 31,5 \text{ minutos}$$

Donde:

$q_e$  = caudal del gotero

$ds$  = densidad de siembra

$Lb_{(\text{corregida})}$  = lamina bruta corregida

**Anexo 8. Cálculo del tiempo de oportunidad, tiempo de avance y tiempo de corte para el riego por surcos mediante el método de balance de volumen.**

**i) Cálculo de la lámina neta (Zn) requerida para una profundidad de 0,5 m**

El cálculo de la lámina neta se realizó según la siguiente ecuación:

$$Zn = (U_{cc} - U_{pmp}) / 100 * \rho_{ap} / \rho_w * Pr * f$$

Donde:

Zn = Lámina neta de agua para la profundidad (Pr)

U<sub>cc</sub> = Contenido de agua a capacidad de campo (en tanto por uno) en base a volumen.

U<sub>pmp</sub> = Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (en tanto por uno) en base a volumen

$\rho_{ap}$  = Densidad aparente del suelo

$\rho_w$  = Densidad del agua

Pr = Profundidad radicular efectiva

f = Factor de disponibilidad de agua para el cultivo, generalmente se asume entre 0,4 y 0,6 para cultivos relativamente tolerantes y sensibles a la falta de humedad respectivamente, tomando para este caso en particular un promedio de 0,5.

Por lo tanto, en base a los resultados de los análisis de suelos vistos en el anexo 4:

$$Zn = (23\% - 16\%) / 100 * 1,176 \text{ gr/cm}^3 / 1 \text{ gr/cm}^3 * 0,5 \text{ m} * 0,5$$

$$Zn = 0,0205 \text{ m}$$

$$Zn = 20,5 \text{ mm}$$

## ii) Cálculo del tiempo de oportunidad

Para el cálculo del tiempo de oportunidad se empleará el método iterativo de Newton-Raphson adoptando el modelo de Kostiakov-Lewis:

$$Z_{req} = k \cdot Top^a + fo \cdot Top$$

Donde:

$Z_{req}$  = Lamina requerida por surco

$a$  = Coeficiente de infiltración (adimensional)

$k$  = Coeficiente de infiltración ( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-a}$ )

$Top$  = tiempo de oportunidad

$fo$  = Velocidad de infiltración básica ( $m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$ )

Siendo que los parámetros  $a$ ,  $k$  y  $fo$  se obtienen de las tablas descritas por Walker (1989) en función de la textura del suelo

### a. Cálculo de la lámina requerida por surco ( $Z_{req}$ )

Este parámetro se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Z_{req} = Z_n \cdot wf$$

Donde:

$Z_{req}$  = lamina requerida por surco ( $m^3/m$ )

$wf$  = distancia entre surcos

Por lo tanto, teniendo como distancia entre surcos 0,5 m:

$$Z_{req} = Z_n \cdot wf$$

$$Z_{req} = 0,0205 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 0,5 \text{ m}$$

$$Z_{req} = 0,0102 \text{ m}^3/\text{m}$$

**b. Aplicación del método de Newton-Raphson en la ecuación de Kostiakov-Lewis:**

Sabiendo que  $a = 0,388$ ;  $k = 0,00346 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-a}$  y  $f_0 = 0,000057 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  aplicamos la siguiente ecuación:

$$T_{O_{i+1}} = T_{O_i} + \frac{Z_{req} - k * T_{O_i}^a - f_0 * T_{O_i}}{\frac{(a * k * T_{O_i})}{T_{O_i}} + f_0}$$

Comenzando el proceso con un valor de  $T_{O_i} = 10 \text{ min}$

---

cálculo del tiempo de oportunidad por Newton-Raphson

---

Tiempo supuesto		Resultado de la iteración	
1 $T_{O_i}$	10,0000	1 $T_{O_{i+1}}$	13,2874
2 $T_{O_i}$	13,2874	2 $T_{O_{i+1}}$	13,5659
3 $T_{O_i}$	13,5659	3 $T_{O_{i+1}}$	13,5674
4 $T_{O_i}$	13,5674	4 $T_{O_{i+1}}$	13,5674
5 $T_{O_i}$	13,5674	5 $T_{O_{i+1}}$	13,5674

---

Observándose que para la 4ta interacción los valores de  $T_{O_{i+1}}$  y  $T_{O_{i+1}}$  son prácticamente iguales se toma como  $T_o = 13,57 \text{ min}$ .

### iii) Cálculo del tiempo de avance

El tiempo de avance se determinó mediante la siguiente ecuación aplicando el método de Newton-Raphson teniendo, donde por cuestiones prácticas se muestran los resultados de la última interacción dado que  $r = 0,806$ :

$$Tav_{i+1} = Tav_i - \frac{Q_0 * Tav_i - 0,77A_0 * L - \sigma z * k * Tav_i^a * L - \sigma z' * f_0 * Tav_i * L}{Q_0 - \frac{\sigma z * k * Tav_i^a}{Tav_i^a} - \sigma z' * f_0 * L}$$

Donde:

Tav = Tiempo de avance (min)

$Q_0$  = Caudal de entrada ( $m^3/min$ )

$A_0$  = área transversal al flujo en la entrada de la parcela ( $m^2$ )

L = Longitud considerada del surco (m)

$\sigma z$  = factor de forma de almacenamiento superficial

#### a. Cálculo de los valores de $\sigma z$ y $\sigma z'$

Para determinar  $\sigma z$ : se empleará la siguiente ecuación:

$$\sigma z = \frac{a + r * (1 - a) + 1}{(1 + a) * (1 + r)}$$

Para determinar  $\sigma z'$  se empleará la siguiente ecuación:

$$\sigma z' = \frac{1}{1 + r}$$

Donde:

a = parámetro adimensional de Kostiakov-Lewis

r = Exponente de la función de avance

En el caso donde  $r = 0,806$  los valores de  $\sigma_z$  y  $\sigma_z'$  son:

$$\sigma_z = \frac{0,388 + 0,806 * (1 - 3,88) + 1}{(1 + 3,88) * (1 + 0,806)}$$

$$\sigma_z = 0,751$$

$$\sigma_z' = \frac{1}{1 + 0,806}$$

$$\sigma_z' = 0,55$$

**b. Cálculo del valor del área transversal ( $A_o$ )**

Aplicando la siguiente ecuación:

$$A_o = \left[ \frac{Q_o * n}{(60 * p_1 * S_o^{0,5})} \right]^{\frac{1}{p_2}}$$

Donde:

$Q_o$  = Caudal de entrada ( $m^3/min$ )

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning

$p_1$  y  $p_2$  = coeficientes empíricos de la forma del surco

$S_o$  = pendiente del campo



Teniendo como  $p_1 = 0,57$  y  $p_2 = 1,367$  obtenidos de tablas de Walker (1989), el coeficiente de Manning  $n = 0,04$  y la pendiente de la parcela de  $S_o = 0,001$  y teniendo como  $Q_o = 0,026 \text{ m}^3/\text{min}$ , siendo este último determinado al medir el caudal de salida de la bomba de la comunidad de Santa Aquilina:

$$A_o = \left[ \frac{0,026 * 0,04}{(60 * 0,57 * 0,001^{0,5})} \right]^{\frac{1}{1,367}}$$

$$A_o = 0,0062$$

**c. Realizando las iteraciones a la ecuación del cálculo de tiempo de avance (Tav)**

Aplicando la ecuación del tiempo de avance (Tav) para una longitud de surcos de  $L = 14,4 \text{ m}$

Cálculo del tiempo de avance por Newton-Raphson			
Tiempo supuesto		Resultado de la iteración	
1 Tav <sub>i</sub>	1.0000	1 Tav <sub>i+1</sub>	8,4289
2 Tav <sub>i</sub>	8,4289	2 Tav <sub>i+1</sub>	10,1250
3 Tav <sub>i</sub>	10,1250	3 Tav <sub>i+1</sub>	5,7104
4 Tav <sub>i</sub>	5,7104	4 Tav <sub>i+1</sub>	5,5747
5 Tav <sub>i</sub>	5,5747	5 Tav <sub>i+1</sub>	5,5747

Observándose que para la 5ª interacción los valores de Tav<sub>i</sub> y Tav<sub>i+1</sub> son prácticamente iguales, se asume que Tav = 5,57 minutos.

**d. Cálculo del tiempo de avance a la mitad del surco ( $T_{av_i(0,5L)}$ )**

Como se cumple que  $T_{av_i} = T_{av_{i+1}}$  se procede al cálculo de  $T_{av_i(0,5L)}$  siendo  $L_{0,5} = 7,2$  m teniendo como 1  $T_{av_i(0,5L)} = 2,79$  min

Cálculo del tiempo de avance en $L_{0,5}$ por Newton-Raphson			
Tiempo supuesto		Resultado de la interacción	
1 $T_{av_i(0,5L)}$	2,7873	1 $T_{av_{i+1}(0,5L)}$	2,3622
2 $T_{av_i(0,5L)}$	2,3622	2 $T_{av_{i+1}(0,5L)}$	2,3583
3 $T_{av_i(0,5L)}$	2,3583	3 $T_{av_{i+1}(0,5L)}$	2,3583

Observándose que para la segunda iteración  $T_{av_i(0,5L)} = T_{av_{i+1}(0,5L)}$ , se concluye que  $T_{av(0,5L)} = 2,36$  min

**e. Determinación del valor de “r”**

Como  $T_{av_i(0,5L)} = T_{av_{i+1}(0,5L)}$  se procede a determinar el valor de (r) mediante la siguiente ecuación:

$$r_{i+1} = \frac{\ln(2)}{\ln\left(\frac{T_{av}}{T_{av_{0,5}}}\right)}$$

$$r_{i+1} = \frac{\ln(2)}{\ln\left(\frac{5,57 \text{ min}}{2,36 \text{ min}}\right)}$$

$$r_{i+1} = 0,806$$

iv) **Cálculo del tiempo de corte el tiempo de corte se calculó según la ecuación:**

Teniendo en cuenta los valores de  $T_o$  y  $T_{av}$  calculados anteriormente:

$$T_{co} = T_o + T_{av}$$

$$T_{co} = 13,57 \text{ min} + 5,58 \text{ min}$$

$$T_{co} = 19,14 \text{ min}$$

v) **Cálculo de la frecuencia de riego**

La frecuencia de riego se calculó mediante la siguiente ecuación donde  $E_{tc} = 2,1$  mm/día:

$$F = \frac{Z_n}{E_{tc}}$$

$$F = \frac{20,5 \text{ mm}}{2,1 \frac{\text{mm}}{\text{dia}}}$$

$$F = 9,1 \text{ dias}$$

$$F = 7 \text{ dias}$$

Donde:

$Z_n$  = Lamina neta requerida

$E_{tc}$  = evapotranspiración del cultivo de brócoli

Teniendo en cuenta que el uso de la bomba de riego por parte de los operarios de la comunidad de Santa Aquilina es de una vez por semana, se adaptó la frecuencia de riego para poder aprovechar el uso de la misma en este trabajo.

**vi) Cálculo de la eficiencia de riego y lamina bruta**

La eficiencia de aplicación está dada por la siguiente ecuación:

$$Ea = \frac{Z_{req} * L}{Qo * T_{co}} * 100$$

Sabiendo de los cálculos anteriores que el tiempo de corte es igual a  $T_{co} = 19,14$  min, con una longitud del surco de 14,4 m, un caudal por surco de  $Qo = 0,026 \text{ m}^3/\text{min}$  y una lámina requerida por surco de  $Z_{req} = 0.01 \text{ m}^3/\text{m}$

$$Ea = \frac{0,01 \text{ m}^3\text{m}^{-1} * 14,4 \text{ m}}{0,026 \text{ m}^3\text{min}^{-1} * 19,14 \text{ min}} * 100\text{min}^{-1}$$

$$Ea = 30 \%$$

En base a la eficiencia calculamos la Lamina bruta:

$$Zb = \frac{Zn}{Ea}$$

$$Zb = \frac{20,58 \text{ mm}}{0,3}$$

$$Zb = 68,6 \text{ mm}$$

## Anexo 9. Archivo fotográfico



Fotografía 1. Condiciones iniciales de los invernaderos



Fotografía 2. Condiciones dentro del invernadero antes de la investigación



Fotografía 3. Abono orgánico de caballo



Fotografía 4. Preparación de los almácigos



Fotografía 5. Motobomba de 5 HPs propiedad de la casa hogar Santa Aquilina



Fotografía 6. Instalación del sistema de riego por goteo



Fotografía 7. Muestras recolectadas de río Lipari y del pozo de la comunidad



Fotografía 8. Germinación de los almácigos de brócoli



Fotografía 9. Reparación del techo de los invernaderos.



Fotografía 10. Interno de la comunidad ayudando en el techado de los invernaderos



Fotografía 11. Interno de la comunidad apoyando con el tendido de la refacción del agro fil



Fotografía 12. Interno de la comunidad y encargada del área de carpas apoyando con el riego por superficie



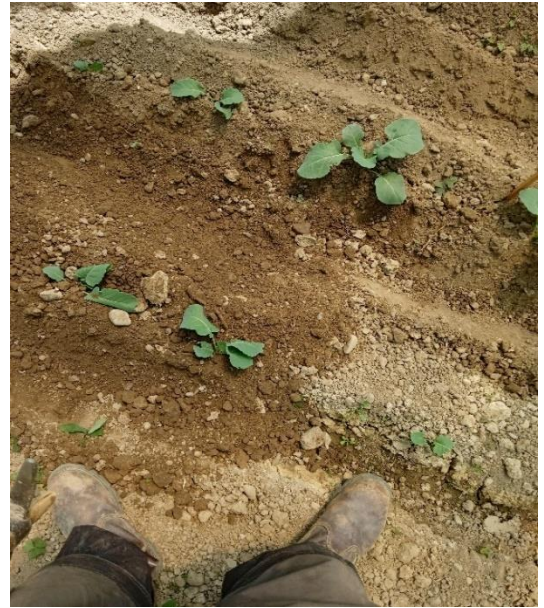
Fotografía 13. Vaso de recolección para la prueba de coeficiente de uniformidad



Fotografía 14. Área de la investigación bajo riego por goteo



Fotografía 15. Área de la investigación bajo riego por superficie



Fotografía 16. Primer aporque





Fotografía 17. Primeros indicios de formación de la inflorescencia



Fotografía 18. Pella en formación



Fotografía 19. Pella completamente formada



Fotografía 20. Pellas de la variedad Pirata bajo riego por superficie recién cosechadas.



Fotografía 21. Área del ensayo bajo riego por superficie en surcos.



Fotografía 22. Área del ensayo bajo riego por goteo.



Fotografía 23. Pellas de los tratamientos T3 y T1 (variedades Pirata y Calabresse)



Fotografía 24. Pella recién cosechada de la variedad Diccico



Fotografía 25. Área bajo riego por goteo antes de la cosecha



Fotografía 26. Pella recién cosechada de la variedad Avenger bajo riego por superficie



Fotografía 27. Muestra 2 de la repetición 1 del tratamiento 6 (variedad Diccico bajo riego por goteo)



Fotografía 28. Pella de la variedad Calabresse recién cosechada.