



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**EFECTO DE DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO EN LA
PRODUCCIÓN DE HOJAS DEL CULTIVO DE QUINUA
(Chenopodium quinoa Willd) VARIEDAD SALCEDO INIA BAJO
INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA
SALCEDO - PUNO, 2021.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SHEYDY BRIYD RAMOS MAYTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

EFFECTO DE DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE HOJAS DEL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VARIEDAD SALCEDO INIA BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA SALCEDO - PUNO, 2021

AUTOR

SHEYDY BRIYD RAMOS MAYTA

RECuento DE PALABRAS

31682 Words

RECuento DE CARACTERES

165681 Characters

RECuento DE PÁGINAS

169 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

15.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 20, 2023 12:12 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 20, 2023 12:14 PM GMT-5

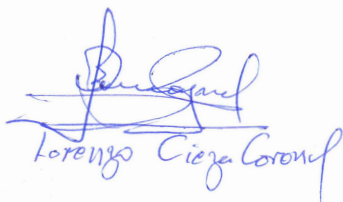
● **17% de similitud general**

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

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Lorenzo Cieza Coronel


Sc. Velardo Coaquira Edilberto
DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Resumen



DEDICATORIA

A mi padre Celestial, por darme la vida, por permitirme concluir mi carrera profesional.

A mi abuela Gertrudis quien ha sido guía, mentora y soporte en mi vida.

A mis padres Norma y Huber, por haberme brindado todo su apoyo y comprensión en esta etapa muy importante, sobre todo a mi madre sin su apoyo no lo habría logrado.

A mis tías Ninfa, Adelayda e Ylda por su apoyo moral, en especial a mi tía Ninfa por creer en mí y ser un apoyo abnegado.

A mis hermanas Eunice y Vasti, quienes con su cariño, presencia y apoyo me motivan a seguir adelante, para continuar en este camino.

A Marcial quien me brindó su apoyo y sus consejos para seguir adelante.

A una persona especial que llevo en mis memorias “gracias abuelo Pedro”.

Sheydy Ramos Mayta



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad Profesional de Ingeniería Agrícola.

A mi asesor de Tesis Ph.D. Lorenzo Gabriel Cieza Coronel por su comprensión, apoyo en la elaboración de la presente investigación.

Al M. Sc. Teófilo Chirinos Ortiz por su espíritu colaborador en la investigación quien, con su experiencia, conocimiento y tiempo, me oriento y encamino en la realización de la presente investigación.

A mis docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Agrícola por contribuir en mi formación profesional.

A mis jurados: D.Sc. Audberto Millones Chafloque, Dr. Edilberto Huaquisto Ramos y M. Sc. Miguel Ángel Flores Barriga, por sus valiosos aportes de sus conocimientos en la elaboración de la presente investigación.

A la Estación Experimental Agraria Illpa INIA: Ing. Washington Goyzueta Hanco y Ing. Jorge Canihua Rojas.

Sheydy Ramos Mayta



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 18

ABSTRACT..... 19

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 20

1.1.1 Enunciado del problema..... 22

1.1.1.1 Pregunta general..... 22

1.1.1.2 Preguntas específicas 22

1.2 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION 23

1.2.1 Hipótesis general 23

1.2.2 Hipótesis específicas 23

1.3 JUSTIFICACIÓN..... 24

1.4 OBJETIVOS 26

1.4.1 Objetivo general 26

1.4.2 Objetivos específicos 26

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES..... 27



2.1.1	Antecedentes internacionales	27
2.1.2	Antecedentes nacionales	31
2.1.3	Antecedentes regionales.....	33
2.2	MARCO CONCEPTUAL	35
2.2.1	Quinua.....	35
2.2.1.1	Origen y clasificación taxonómica.....	35
2.2.1.2	Descripción botánica	36
2.2.1.3	Fenología de la quinua	37
2.2.1.4	Variedad Salcedo INIA	38
2.2.1.5	Hojas de quinua.....	39
2.2.2	Demanda hídrica de la quinua.....	42
2.2.2.1	Definición.....	42
2.2.2.2	Coeficiente único de cultivo de la quinua.	43
2.2.3	Manejo del cultivo.....	44
2.2.3.1	Preparación del suelo	44
2.2.3.2	Labores culturales	46
2.2.4	Invernaderos	46
2.2.4.1	Definición de invernadero.....	46
2.2.4.2	Tipos	47
2.2.4.3	Producción de hortalizas en invernaderos.....	48
2.2.5	Evapotranspiración de referencia ETo y evapotranspiración de cultivo	
	ETc en condiciones de invernadero	48
2.2.5.1	Evaporación.....	48
2.2.5.2	Transpiración.....	49
2.2.5.3	Evapotranspiración.....	49



2.2.5.4	Evapotranspiracion de referencia (ET _o)	49
2.2.5.5	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET _c)	50
2.2.5.6	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET _{c aj}) ..	51
2.2.5.7	Factores que afectan la evapotranspiración.....	52
2.2.5.8	Variables climáticas	52
2.2.5.9	Factores de cultivo	53
2.2.5.10	Manejo y condiciones ambientales	53
2.2.6	Determinación de la evapotranspiración (ET)	54
2.2.6.1	ET calculada con datos meteorológicos	56
2.2.6.2	Tanque evaporímetro tipo A	58
2.2.6.3	ET determinada por medio de lisímetros	62
2.2.6.4	Balace hídrico.....	63
2.2.7	Programación de los riegos en invernadero	65
2.2.7.1	Metodologías para determinar la lámina de riego en invernadero.....	66
2.2.7.2	Lamina netas	67
2.2.7.3	Coeficiente de cultivo	68
2.2.7.4	Lamina bruta	69
2.2.7.5	Eficiencia del sistema de riego.....	71
2.2.7.6	Coeficiente de uniformidad.....	71
2.2.7.7	Necesidades de lavado de sales.....	72
2.2.7.8	Riego en invernadero	72
2.2.7.9	Volumen de riego	74
2.2.8	Relación de Agua, planta y suelo	76
2.2.8.1	Contenido de agua en el suelo.....	76
2.2.8.2	Determinación de la humedad del suelo	77



2.2.8.3	Estados de humedad del suelo.....	78
2.2.8.4	Densidad aparente	79
2.2.8.5	Densidad real.....	80
2.2.8.6	Salinidad.....	80
2.2.9	Eficiencia de uso de agua.....	80
2.2.9.1	Definición.....	80
2.2.9.2	Metodología de cálculo	80
2.2.10	Relación riego-producción de hojas, relación riego-eficiencia de uso del agua y relación riego – Parámetros de crecimiento en el cultivo de quinua.	81
2.2.10.1	Relación entre el riego y la producción de hojas en el cultivo de la quinua.	81
2.2.10.2	Relación entre el riego y la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de la quinua.....	81
2.2.10.3	Relación entre el riego y el desarrollo de los parámetros de crecimiento del cultivo de la quinua.	82

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	83
3.1.1	Tipo	83
3.1.2	Diseño experimental.....	83
3.2	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	84
3.2.1	Ubicación	84
3.2.1.1	Ubicación política	84
3.2.1.2	Ubicación geográfica	84



3.2.1.3	Localización de la parcela experimental	84
3.2.1.4	Características del invernadero	85
3.2.2	Clima	85
3.2.3	Suelo.....	86
3.2.4	Análisis de agua	89
3.3	MATERIALES	90
3.3.1	Parcela experimental	90
3.3.2	Instalaciones y acondicionamiento de la parcela experimental	92
3.3.3	Materiales utilizados	92
3.3.3.1	Lisímetros.....	92
3.3.3.2	Riego	93
3.3.3.3	Material vegetal.....	94
3.3.3.4	Equipos de medición de parámetros meteorológicos.....	94
3.3.3.5	Equipo de medición.....	94
3.4	CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	94
3.4.1	Labores agrícolas	94
3.4.1.1	Preparación de terreno.....	94
3.4.1.2	Aplicación de riego machaco	95
3.4.1.3	Siembra	95
3.4.1.4	Abonamiento y fertilización.....	96
3.4.1.5	Desahíje.....	96
3.4.1.6	Aporque.....	96
3.4.1.7	Cosecha	97
3.4.2	Manejo del riego	97
3.4.3	Recolección de datos.....	97



3.4.3.1	Datos climáticos	97
3.4.3.2	Potencial matricial del agua en el suelo (Ψ_m)	97
3.4.3.3	Desarrollo y crecimiento del cultivo	97
3.4.3.4	Producción de hojas y biomasa	98
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO Y LAMINAS DE RIEGO.....	98
3.5.1	Láminas de riego	98
3.5.1.1	Evapotranspiración de referencia (ET _o) y Evapotranspiración de cultivo (ET _c)	99
3.5.1.2	Volumen de agua aplicada	100
3.5.1.3	Programación de riego	100
3.5.2	Balance hídrico.....	101
3.5.2.1	Volumen de agua drenado y coeficiente de cultivo (K _c).....	101
3.6	DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCION DE HOJAS DE CULTIVO DE QUINUA	102
3.6.1	Determinación del rendimiento.....	102
3.6.2	Análisis estadístico.....	102
3.7	DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DEL CULTIVO QUINUA	103
3.7.1	Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	103
3.7.2	Análisis estadístico.....	103
3.8	DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA	103
3.8.1	Altura de planta.....	103
3.8.2	Diámetro de tallo.....	104



3.8.3	Numero de hojas	104
3.8.4	Longitud y ancho de hojas.	104
3.8.5	Biomasa.....	104
3.8.6	Análisis estadístico.....	104

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CÁLCULO DE LA LÁMINA DE RIEGO EN CONDICIONES DE INVERNADERO.	105
4.1.1	Factores climáticos.....	105
4.1.2	Evapotranspiración de referencia (ET _o) y del cultivo (ET _c).....	106
4.1.2.1	Cálculo de evapotranspiración de Referencia ET _o	106
4.1.2.2	Lamina aplicada.	107
4.1.2.3	Cálculo de evapotranspiración real del cultivo ET _c	108
4.1.3	Balance hídrico.....	109
4.1.4	Potencial matricial del suelo	111
4.2	EFFECTO DE LAS LÁMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE HOJAS	112
4.3	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO EN LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)	115
4.4	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO EN LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO DE LA QUINUA	118
4.4.1	Altura de planta	118
4.4.2	Parámetros de Diámetro de Tallo.....	122
4.4.3	Parámetro de número de hojas	123
4.4.4	Parámetro de longitud y ancho de hojas	125



4.4.5 Producción de biomasa	127
V. CONCLUSIONES.....	129
VI. RECOMENDACIONES	131
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
ANEXOS.....	148

Área: Recursos hídricos

Tema: Demanda hídrica y producción de hojas de quinua en invernadero

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de julio de 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Taxonomía de la quinua.....	36
Tabla 2.	Fases fenológicas del cultivo de quinua.....	38
Tabla 3.	Evapotranspiración máxima (Em) lisimétrica, ETo método de Penman y Kc de la quinua Patacamaya (1989/1990).	44
Tabla 4.	Valores de factor de mayoración (f) en función del coeficiente de uniformidad de la instalación de riego por goteo.	72
Tabla 5.	Análisis mecánico y macronutrientes del suelo de la parcela.....	88
Tabla 6.	Análisis químico y físico del suelo	88
Tabla 7.	Análisis de agua con fines de riego.....	89
Tabla 8.	Promedio mensual de datos climatológicos registrados dentro del invernadero.	106
Tabla 9.	Cálculo de lámina de riego	107
Tabla 10.	Lámina de riego aplicada durante las fases fenológicas para los diferentes tratamientos.....	109
Tabla 11.	Evapotranspiración del cultivo de quinua para los diferentes tratamientos.	110
Tabla 12.	Valores de balance hídrico semanal.....	111
Tabla 13.	Cálculo del rendimiento en producción de hojas por lisímetro.	112
Tabla 14.	ANOVA de producción de hojas para los tratamientos T1, T2, T3 y T4..	113
Tabla 15.	HSD Tukey de la producción de hojas por tratamiento.....	114
Tabla 16.	Cálculo de EUA por lisímetro en (Kg/m ³).	116
Tabla 17.	ANOVA de la eficiencia de uso de agua.	117
Tabla 18.	HSD Tukey de la eficiencia de uso de agua por tratamientos	117
Tabla 19.	Análisis de Varianza ANOVA de la altura de la quinua	120



Tabla 20. HSD Tukey de parámetro de altura de planta (cm) por efecto de la aplicación de las láminas de riego.	120
Tabla 21. ANOVA del diámetro de tallo de T-1, T-2, T-3 y T-4	122
Tabla 22. ANOVA de número de hojas por tratamiento.	124
Tabla 23. ANOVA de la longitud de hoja por tratamiento.	125
Tabla 24. ANOVA del ancho de hoja por tratamiento	126
Tabla 25. ANOVA de producción de biomasa de los diferentes tratamientos	127
Tabla 26. Prueba de Tukey en la producción de biomasa por tratamiento	128



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fenología de la variedad de quinua Salcedo INIA.....	39
Figura 2.	Representación de la evapotranspiración de referencia.....	50
Figura 3.	Evapotranspiración en condiciones estándar.....	51
Figura 4.	Evapotranspiración en condiciones no estándar.....	52
Figura 5.	Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ET	54
Figura 6.	Dimensiones del tanque evaporímetro tipo A	60
Figura 7.	Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores ...	61
Figura 8.	Esquema de un lisímetro de drenaje.....	63
Figura 9.	Balance de agua en parcela en un invernadero.....	64
Figura 10.	Esquema de cálculo de las necesidades netas de agua en riegos localizados de alta frecuencia.....	66
Figura 11.	Bulbo húmedo en diferentes tipos de suelo.....	76
Figura 12.	Ubicación del invernadero en Salcedo INIA.....	85
Figura 13.	Esquema de la parcela experimental.	91
Figura 14.	Evapotranspiración de referencia (ET _o) calculado por el método del tanque evaporímetro tipo A situado dentro del invernadero.....	107
Figura 15.	Evaporación promedio semanal del tanque evaporímetro tipo A y evapotranspiración promedio de la quinua.....	108
Figura 16.	Comportamiento diario del potencial matrico para cada tratamiento.	112
Figura 17.	Rendimiento en producción de hojas de la quinua de los diferentes tratamientos.	113
Figura 18.	Curva de crecimiento de la quinua hasta el inicio de panojamiento.	119
Figura 19.	Desarrollo del diámetro de tallo de la quinua.....	122



Figura 20. Numero de hojas por tratamiento T-1, T-2, T-3 y T-4.	123
Figura 21. Curva de crecimiento de las hojas de quinua.	125
Figura 22. Producción de biomasa por tratamiento	127



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

ECA: Estándares de calidad ambiental

ETo: Evapotranspiración de referencia

ETc: Evapotranspiración de cultivo

EUA: Eficiencia de uso de agua

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria

INIA: Instituto de Innovaciones Agropecuarias

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

MINAM: Ministerio del Ambiente

PROINPA: Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos

RLAF: Riegos localizados de alta frecuencia

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

Kc: Coeficiente de Cultivo



RESUMEN

Existe información limitada respecto a la producción de hojas frescas de quinua como hortaliza para consumo humano, pese a que el contenido de proteína y aminoácidos es superior al encontrado en la espinaca y el mismo grano. Por lo cual, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de diferentes láminas de riego en la producción de hojas, eficiencia de uso de agua y los parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero. La investigación se realizó desde el 20 de abril al 11 de julio del 2021 en la Estación Experimental Agraria Illpa INIA en Salcedo, provincia de Puno del departamento Puno. Para ello, se instaló una parcela experimental dentro del invernadero con un sistema de riego por goteo, un tanque evaporímetro tipo A y 12 lisímetros de drenaje, se instaló el cultivo de quinua bajo cuatro láminas de reposición de la evapotranspiración del cultivo (T1: 100%ETc; T2: 80% ETc, T3: 60% ETc y T4: 40%ETc) con tres repeticiones cada uno. Las láminas de riego fueron estimadas a partir de la evaporación en base al ajuste local del tanque evaporímetro tipo A. Como resultado a los 83 DDS respecto a las láminas de riego aplicadas del 100%, 80%, 60% y 40% de la ETc; el consumo total de agua obtenido del balance hídrico de los lisímetros fue de: 113, 102.6, 80.5 y 69.2 mm respectivamente. Los rendimientos en producción de hojas fueron: 1.02 Kg/m²; 1.35 Kg/m²; 1.2 Kg/m² y 1.0 Kg/m² respectivamente. Los valores de EUA fueron de: 27.2; 39.4; 41.5 y 43.4 Kg/m³ respectivamente. Por todo lo anterior, el T2 resultó ser el más productivo en cuanto al rendimiento en hojas y mayor desarrollo de los parámetros de crecimiento, y un ahorro de agua del 9.2% respecto al T1.

Palabras Clave: Eficiencia de uso de agua, Hoja de quinua, Lámina de riego, Rendimiento.



ABSTRACT

There is limited information regarding the production of fresh quinoa leaves as a vegetable for human consumption, despite the fact that the protein and amino acid content is higher than that found in spinach and the same grain. Therefore, the objective of this research was to determine the effect of different irrigation sheets on leaf production, water use efficiency and growth parameters of the quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) Salcedo INIA variety under greenhouse. The research was carried out from April 20 to July 11, 2021 at the Illpa INIA Agrarian Experimental Station in Salcedo, Puno province, Puno department. For this, an experimental plot was installed inside the greenhouse with a drip irrigation system, a type A evaporimeter tank and 12 drainage lysimeters, the quinoa crop was installed under four replacement sheets of crop evapotranspiration (T1: 100 %ETc; T2: 80% ETc, T3: 60% ETc and T4: 40% ETc) with three repetitions each. The irrigation sheets were estimated from the evaporation based on the local adjustment of the type A evaporimeter tank. As a result at 83 DAS with respect to the applied irrigation sheets of 100%, 80%, 60% and 40% of the ETc ; the total water consumption obtained from the water balance of the lysimeters was: 113, 102.6, 80.5 and 69.2 mm respectively. The yields in leaf production were: 1.02 Kg/m²; 1.35 Kg/m²; 1.2 Kg/m² and 1.0 Kg/m² respectively. The USA values were: 27.2; 39.4; 41.5 and 43.4 Kg/m³ respectively. Due to all of the above, T2 turned out to be the most productive in terms of leaf yield and greater development of growth parameters, and a water saving of 9.2% compared to T1.

Keywords: Water use efficiency, Quinoa leaf, Irrigation sheet, Yield.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población en los próximos años requerirá más alimentos que serán necesarios obtenerlos, y en esta medida, el uso eficiente del agua también será clave para resolver esta perspectiva con éxito (Moratiel, 2017).

La quinua es uno de los alimentos más completos del mundo (Fundacion PROINPA, 2011). Para el consumo humano se utilizan las semillas, las hojas tiernas hasta el inicio de la formación de la panoja (el contenido proteico de estas últimas es del 3,3 por ciento de la materia seca) y con menos frecuencia las panojas tiernas. El valor nutricional de las hojas tiernas es fundamental; ya que el contenido y la calidad de las proteínas se destacan gracias a los aminoácidos esenciales (lisina, arginina, histidina y metionina) (Mujica et al. 1992).

Para el consumo humano se utilizan las semillas, las hojas tiernas hasta el inicio de la formación de la panoja (el contenido proteico de estas últimas es del 3,3 por ciento de la materia seca) y con menos frecuencia las panojas tiernas. El valor nutricional de las hojas tiernas es fundamental; ya que el contenido y la calidad de las proteínas se destacan gracias a los aminoácidos esenciales (lisina, arginina, histidina y metionina).

El consumo de hojas de quinua como hortaliza se limita a los países de la región andina como Perú y Bolivia, esto de manera tradicional y estacionaria. (Ramírez, 2015).

Actualmente, el interés por los alimentos saludables va en aumento, debido al incremento de la desnutrición y diversas enfermedades en la región Puno y en todo el



mundo. Estos hechos incentivan el estudio de nuevos productos, cuyo consumo reduzca el riesgo de enfermedades y tenga propiedades saludables.

Según INEI (2021), durante el año 2021, la desnutrición crónica afectó al 11,5% de las niñas y niños menores de cinco años de edad en el país. Por consiguiente, (Salazar & Muñoz, 2019) las intervenciones agrícolas y de protección social tienen el mayor potencial para mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición.

La hoja de quinua es una alternativa alimenticia para el consumo humano ya que posee proteínas y vitaminas, por tanto, para mayor disponibilidad de esta se plantea la producción de manera intensiva bajo invernadero lo cual permitirá la disponibilidad de este recurso durante todo el año. Sin embargo, existe una carencia de datos técnicos respecto a la producción y requerimiento hídrico.

La cantidad de agua necesaria para cultivar quinua en todo el mundo no está determinada con precisión porque el cultivo se cultiva principalmente en seco. Sin embargo, como se desconoce la capacidad de respuesta de esta planta al riego, es esencial contar con datos cuantitativos sobre los requerimientos de agua (López, 2019). Por lo tanto, la gestión adecuada del agua comienza con determinar con la mayor precisión posible las necesidades de agua del cultivo (Anton et al., 2002).

Con el riego (goteo), es necesario regar la cantidad justa de agua y necesaria para cubrir las necesidades hídricas de la planta o del ETc. El exceso de agua de riego indica lixiviación de fertilizantes y puede generar problemas ambientales debido a la contaminación de las aguas subterráneas. Además, el encharcamiento y la asfixia de raíces son comunes en suelos pesados (Fernández et al., 2001).

Por las consideraciones expuestas sobre la demanda hídrica, surgen interrogantes que orientan el desarrollo del proyecto de investigación.



1.1.1 Enunciado del problema.

1.1.1.1 Pregunta general

- ¿Cuál es el efecto de diferentes láminas de riego en la producción de hojas, eficiencia de uso de agua y los Parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo - Puno?

1.1.1.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en la producción de hojas del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo - Puno?
- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en la eficiencia de uso de agua del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo – Puno?
- ¿Cuál es el efecto de la aplicación diferentes láminas de riego en los Parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo - Puno?



1.2 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.2.1 Hipótesis general

La aplicación de diferentes láminas de riego tiene un efecto directo en la producción de hojas, eficiencia de uso de agua y los Parámetros de crecimiento del cultivo de la quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la estación experimental INIA Salcedo – Puno *Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo - Puno.

1.2.2 Hipótesis específicas

La aplicación de diferentes láminas de riego tiene un efecto directo en la producción de hojas del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo – Puno.

La aplicación de diferentes láminas de riego tiene un efecto directo en la eficiencia de uso de agua del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo – Puno.

La aplicación de diferentes láminas de riego tiene un efecto directo en el desarrollo de los Parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la Estación Experimental Agraria INIA Salcedo – Puno.



1.3 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la quinua se ha convertido en un alimento muy demandado por su valor nutricional. Es el único alimento de origen vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas que necesita el cuerpo humano y no contiene gluten (Daza et al., 2015).

En la nutrición humana, el consumo de quinua tiene muchos usos y el grano es el producto más utilizado por el hombre. Sin embargo, se conocen algunas formas tradicionales de utilizar la quinua. En el Altiplano de Perú y Bolivia, las hojas tiernas (antes del panojamiento) se recolectan y comen como verdura cruda o cocida que se conoce como "ch'ihua" en idioma nativo (Mujica et al., 2001).

La quínoa para hojas puede ser una alternativa a otras hortalizas de hoja, como las espinacas, la lechuga, la rúcula o el lupino, que son menos resistentes a la sequía.

Peralta (1985) citado por Sánchez (2019) las hojas de quinua se cree que amargas, por lo que su consumo es limitado. Sin embargo, se debe aclarar que las saponinas solo se encuentran en los granos y no en otras partes de la planta, por lo que las hojas no son amargas.

Así mismo, estudios realizados en Ecuador por Mina (2018) y Villacres et al. (2016) señalan que la hoja de quinua en comparación con los productos que actualmente dominan el mercado tiene un contenido de proteína en materia seca (22,26%), superior a la del grano de quinua (14,15%), a la harina de alfalfa (17,50%) y ligeramente inferior al contenido de proteínas de la soya (35,71%). Además, el contenido de proteínas en peso fresco, supera al de la espinaca en (2,86%), acelga (1,82%) y brócoli (2,98%). El poder nutritivo de las hojas de quinua radica en su gran riqueza de minerales y vitaminas; ya que 100gramos poseen 410 mg de magnesio, otro mineral importante que posee es el



hierro ya que 100 gramos poseen 8,87mg de hierro, también cada 100 gramos de hojas aportan el 32% de vitamina c.

Las hojas de quinua no están disponibles comercialmente en Perú y los beneficios del consumo están poco difundidos (Sánchez, 2019). Esto debido a que la producción es de manera estacional debido al clima adverso propio del altiplano. Por tal motivo, la producción bajo cubierta fuera de temporada tiene lugar cuando las condiciones climáticas locales son desfavorables para la producción al aire libre. Las buenas condiciones de crecimiento en cuidados intensivos y estructuras protegidas permiten una mayor producción (Lencsak & Iglesias, 2019) para lo cual es fundamental disponer información técnica de producción, asimismo promover el consumo de la hoja de quinua como hortaliza.

Además, el riego y el manejo del agua en un cultivo intensivo es de capital importancia, sobre todo cuando se trata de maximizar el potencial productivo y tener mejores posibilidades de éxito. Por ello es que debemos prestar atención en el riego y en cómo las plantas reaccionan ante él. Vamos a intentar entender el comportamiento de la planta y reacciones ante el riego y cómo debemos adaptarnos al comportamiento del cultivo, el manejo del riego al final toma cada vez más representatividad, quedando en algunos casos como el único factor donde podemos influir en el cultivo de forma activa (Alba, 2018).

Por tal motivo resulta de especial interés conocer la lámina de riego más eficiente con el que se puede obtener mayor producción de hojas bajo invernadero a partir de ahí poder aportar conocimientos técnicos para la mejora en el uso eficiente del agua y la productividad agrícola que se ve afectada por las condiciones climáticas y la escasez de aguas propias de la región de Puno.



Por tanto, se espera que el estudio sirva como un antecedente fiable a estudios venideros sobre el tema dado que el estudio se desarrolla dentro del marco del método científico para la validación de la investigación.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes láminas de riego en la producción de hojas, eficiencia de uso de agua y los parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la estación experimental INIA Salcedo - Puno, 2021.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes láminas de riego en la producción de hojas del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la estación experimental INIA Salcedo - Puno, 2021
- Determinar el efecto de diferentes láminas de riego en la eficiencia de uso de agua del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la estación experimental INIA Salcedo - Puno, 2021
- Determinar el efecto de diferentes láminas de riego en los parámetros de crecimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) variedad Salcedo INIA bajo invernadero en la estación experimental INIA Salcedo - Puno, 2021



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Méndez (2008) realizó un estudio denominado “Evaluación de genotipos de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) en diferentes etapas de supresión de riego y niveles de humedad bajo Walipini”, su objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico y morfológico de los genotipos de quinua en los niveles humedad del 10, 30 y 60% de CC medidos en humedad volumétrica y supresión de riego (ramificación, floración y llenado de grano). Como resultado encontró que la mayor altura de la planta se logró cuando los niveles de humedad estaban cerca de la capacidad de campo, del 60% de CC y la altura de planta más baja a una humedad de 10 de CC. El diámetro máximo del tallo obtuvo con un nivel de humedad de 60% de CC durante las etapas 2 y 3 de supresión del riego (floración y llenado de granos) y el diámetro de tallo más pequeño encontró con un nivel de humedad de 10% de CC. En la 1° etapa de supresión de riego (ramificación) a un nivel de humedad de 30% de CC se alcanzó el máximo número de hojas durante la floración y llenado de grano, y en la 2° etapa de reducción de riego a un nivel de humedad de 60% de CC fase (floración) se alcanza el número máximo de hojas. La ETo media estimada por el método de prueba de Penman modificado fue de 3,64 mm/día. La evaporación del cultivo determinada a través del balance hídrico fue: 559,01 mm a un nivel de humedad de 60% de CC, 405,13 mm a un nivel de humedad de 30% de CC y 311,93 mm a un nivel de humedad de 10% de CC.



Pathan et al. (2023) realizaron un estudio denominado “Production of Quinoa Leafy Greens in High Tunnel for Season Extension in Missouri” con el objetivo de promover la quinua de hoja verde como hortaliza, así como realizar un estudio de factibilidad de extensión de temporada utilizando túneles altos. El estudio se realizó durante las temporadas de primavera de 2020, 2021 y 2022 en la granja George Washington Carver de la Universidad de Lincoln en Jefferson City, MO, EE. UU. Se evaluaron datos agronómicos y análisis nutricionales foliares de plantas jóvenes de aproximadamente 30 días de edad. Los resultados obtenidos en cuanto a rendimientos en hoja de los tres genotipos de quinua fueron: 2913.2 g m^{-2} ; 2407.9 g m^{-2} y 2315.8 g m^{-2} para los genotipos de Ames 13724; PI 665275 y PI 614885, el genotipo Ames 13724 dio el mayor rendimiento de hojas verdes. Además, la extensión de la temporada de producción de verduras de hojas verdes de quinua en un túnel alto es posible con una cosecha tres semanas antes a principios de la primavera.

Stuleru et al. (2022) en su artículo denominado “Phytosterol and Polyphenol Contents and Quinoa Leave Yields Variation in Relationships to Variety, Density and Harvesting Date” tuvo como objetivo estudiar la posibilidad de introducir la quinua como cultivo hortícola de hoja tierna como fuente de polifenoles y fitoesteroles. Para lograr este objetivo, se realizó un experimento de campo con tres cultivares de quinua (Titicaca, Puno y Vikinga) cultivados en un diseño de parcela dividida. Los factores experimentales incluyeron tres densidades (160, 320 y 760 plantas/m²) y dos fechas de cosecha (52 y 62 días después de la siembra (DDS)). En cuanto a la densidad óptima para parámetros morfológicos es de 320 plantas/m², mientras que para producción de hojas la densidad óptima es de 760 plantas/m². En cuanto a la época de cosecha, todos los



parámetros morfológicos, incluida la producción, fueron superiores a los 62 DDS. Esta investigación demostró que las hojas tiernas de quinua son una buena fuente de fitoesteroles y fenoles para el consumo humano.

Samad et al. (2018) en su investigación denominado “The potential use of quinoa as a new non-traditional leafy vegetable crop” realizado durante las temporadas de cultivo de invierno de 2014 y 2015 tuvo como objetivo examinar el uso potencial de hojas frescas de dos cultivares de quinua (Hualhuas y CICA), como un nuevo cultivo de hortalizas de hoja no tradicional en comparación con el cultivar de espinaca (Balady). Se evaluó el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la composición química de las hojas de plantas jóvenes cosechadas a los 45 días después de la fecha de siembra. Los resultados obtenidos revelaron que las plantas jóvenes de quinua del CICA mostraron el mayor rendimiento para todos los caracteres de crecimiento vegetativo y rendimiento en producción de hojas de 4.15 y 3.65kg/m² en comparación con las plantas de Hualhuas (2.14 y 2.05kg/m²) y espinaca (2.20 y 2.15kg/m²) en ambas temporadas.

Arevalo (2011) efectuó una investigación denominada “Evaluación del efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en el cultivo de rosa (Rosa Sp) Cv. Freedom, bajo invernadero en la sabana de Bogotá”, su objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de tres láminas de riego en el cultivo de rosa (Rosa Sp) Cv. Freedom, bajo invernadero, comparando la curva crecimiento del tallo y botón, la productividad, vida en florero, el potencial mátrico del suelo (Ψ_m), el potencial hídrico al tallo de la hoja (Ψ_T) y la eficiencia en el uso del agua aplicada. Basado en la aplicación del 100, 80 y 70% de la evapotranspiración del cultivo (ETc100, ETc80 y ETc70). Los resultados encontrados muestran una alta correlación entre el potencial hídrico del tallo (Ψ_T) y el déficit de presión de vapor



(DVP) y la radiación solar (Ra). En cuanto a la producción de tallos, no se encontraron diferencias significativas. Las curvas de crecimiento de tallo y el botón fueron homogéneos durante todo el ensayo, y el comportamiento del florero fue similar en las tres láminas de riego aplicadas. Los tratamientos con mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) fueron ETc70 y ETc80, que mostraron ahorros de agua de 21,8% y 14,6% respectivamente en comparación con el tratamiento ETc100.

Deza et al. (2015) en su investigación denominado “Efecto de aplicación de diferentes láminas de riego en estevia (*Stevia Rebaudiana Bert.*) bajo invernadero”, tuvo como objetivo evaluar diferentes láminas de riego calculadas a partir de coeficientes multiplicadores de la evapotranspiración (0,9, 1,0, 1,1, 1,2 y 1,3), aplicadas a un cultivo de Estevia (*Stevia Rebaudiana Bert.*). Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones, para un total de 25 unidades experimentales. Se evaluó el número de hojas por planta, peso fresco y seco, porcentaje de materia seca, longitud de la raíz, diámetro del tallo, contenido relativo de agua de la hoja y rendimiento del cultivo. No encontró diferencias significativas entre los coeficientes de las distintas variables agronómicas evaluadas. Sin embargo, se ha observado que un factor de 1,2 tiende a dar los mejores resultados y puede tomarse como guía para el manejo del agua en este cultivo.

Marcias (2009) evaluó el efecto de volúmenes de agua sobre el rendimiento y calidad de un cultivo de tomates (*Solanum lycopersicum Mill. cv. El Cid*) regado por goteo en el invernadero del CIIDIR-Michoacan, durante los meses de abril a julio del 2008. Los tratamientos correspondieron a la aplicación de 3 láminas de riego. T1 = 1.00, T2 = 1.25, T3 = 0.75, ETc, calculado a partir de los registros diarios de evaporación del tanque evaporímetro tipo A instalado en



el invernadero, corregido por el factor de tanque local y el coeficiente de cultivo del tomate, $T4 = \text{control}$, usos del agricultor cuerpos de agua tradicionalmente utilizados en la región. Durante el desarrollo de este estudio, ET_o registró valores entre 6 y 8 mm y ET_c registró valores entre 2 y 5 mm. Cada valor de K_e está entre 0,3 y 1,2, la cantidad de agua aplicada a $T1$ (3283 m³ ha) y $T2$ (4103 m³ ha) fueron aproximadamente el doble de la cantidad aplicada con el tratamiento testigo $T4$ (1848 m³ ha). Los resultados mostraron que los rendimientos generales y comerciales aumentaron con el aumento de la dosis de agua, siendo $T2$ (1,25 ET_c) el mejor tratamiento, produciendo significativamente un 23 % más de fruta de calidad comercial que los otros tratamientos. No se observaron diferencias significativas entre las distintas láminas de agua investigadas con respecto al tamaño, diámetro y peso medio de los frutos. El uso del método de FAO-Tanque evaporímetro es una herramienta conveniente, fácil y económica para estimar la evapotranspiración de los cultivos, determinar las necesidades de agua y crear un programa de riego básico para los cultivos de tomate de invernadero con riego por goteo.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Tarazona (2017) en su investigación denominado “Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), mediante el método del lisímetro”. El objetivo de dicho estudio fue obtener los coeficientes de uso consuntivo (K_c) del agua para los diferentes estados fenológicos del cultivo de quinua a través de la relación ETR/ETP , mediante el método lisimétrico. La evapotranspiración potencial histórica (ETP) se estimó utilizando las fórmulas tomadas en este estudio (radiación, Hargreaves por temperatura, Hargreaves por radiación, Turc, Jensen Haise, Blaney Criddle y



Thornthwaite). Como resultado obtuvo que la evapotranspiración del cultivo de quinua varía según el estado de desarrollo de la planta obteniéndose un resultado de 900,366 mm utilizando el método lisimétrico. Los valores del coeficiente de consumo (K_c) oscilan entre 0,54 y 1,16, representando demanda mínima en la fase temprana ($K_c = 0,54$) y alcanzando demanda máxima en la fase media ($K_c = 1,16$), luego desciende a un estado final ($K_c = 0.70$) que representa la madurez.

García et al. (2017) en su investigación “Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la Molina” tienen como objetivo determinar la demanda hídrica (E_m), determinar experimentalmente la evapotranspiración máxima del cultivo y determinar los K_c del cultivo. La investigación fue del tipo experimental el cual se realizó en el centro experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria La Molina. El uso del lisímetro de nivel freático constante permitió determinar la demanda de agua (E_m) del cultivo de quinua, la cual fue de 957,3 m³/ha durante la etapa intermedia y 2623 m³/ha durante la campaña agrícola. Se pudo medir la evapotranspiración máxima del cultivo (E_m) medida con un lisímetro y la evapotranspiración de referencia (E_{To}) medida con el método Penman adaptado al Perú dan un rango de 0.33 a 1.52 K_c . Esto resultó en promedios de K_c de 0.554, 0.99, 1.271 y 0.904 para las etapas temprana, de desarrollo, de mitad de temporada y final.

Minchola (2020) en su investigación denominada “Respuesta de la quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*) al estrés hídrico en siembras de invierno bajo condiciones de La Molina” tuvo como objetivos: evaluar el efecto del estrés hídrico en caracteres agronómicos y la respuesta al mildiú (*Peronospora variabilis*); determinar las variaciones en los caracteres fisiológicos y bioquímicos



en respuesta al estrés hídrico. Se utilizaron dos variedades comerciales (INIA Salcedo y Amarilla Sacaca) y dos líneas mutantes (MQ AM 250-283 y MQ Pas-50); y se realizaron dos experimentos. Un grupo control con riego normal y un entorno con riego deficitario o estrés hídrico. Los mutantes MQ Pas-50 se caracterizan por altura de planta variable, rendimiento, índice de cosecha en experimentos de control y estrés hídrico en comparación con otros genotipos. El genotipo más precoz fue el cultivar comercial INIA Salcedo con 43 días (testigo) y 45 días (estrés hídrico) y días variables a madurez de 96 días (testigo y estrés hídrico). Del mismo modo, muestra menor rendimiento en ambos entornos.

2.1.3 Antecedentes regionales.

Chirinos (2017) en su investigación denominado “Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia del uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en lisímetros de drenaje en la comunidad de Ccaje – Juli – Chucuito – Puno, campaña 2015 – 2016” tuvo como objetivo principal, determinar el efecto de la dosis de riego en el consumo de agua y la eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en lisímetros de drenaje. Para ello, instaló una parcela experimental con 16 lisímetros de drenaje equipada con 01 sistema de riego por goteo, 01 protector de lluvias y 01 pluviómetro, donde se cultivó el ecotipo local de quinua bajo tres regímenes de riego (T-1: 100% Evapotranspiración del cultivo - ETc, T-2: 50% ETc y T-3: 25% ETc) con cuatro repeticiones y en el que diariamente midió la precipitación pluvial y el riego aplicado. Como resultado obtuvo que el consumo de agua del ecotipo local fue de 446, 290 y 166 mm en dosis de riego de 100%, 50% y 25° ETc. respectivamente; En cuanto a la eficiencia en el uso del agua, fue de 1225, 1000 y 1195 toneladas m-3. Con base en esto, concluyo que la dosis de riego tiene



un efecto directo sobre el consumo real de agua; también que las dosis de riego superiores a 50° ETC afectan directamente la eficiencia en el uso del agua del ecotipo local de quinua y las dosis de riego inferiores tienen el efecto contrario.

Mori (2015) en su investigación "Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), mediante el riego por goteo" tuvo como objetivo determinar el efecto de cinco láminas de riego en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), variedad INIA Salcedo, utilizando un sistema de riego por goteo. El estudio se realizó en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en un sitio experimental de 0,2 hectáreas. La aplicación de riego se realizó en base a la calibración local de la bandeja de evaporación para estimar la ETo y coeficientes de cultivo para diferentes fases fenológicas de la quinua. Se utilizó un sensor para medir la humedad del suelo. El modelo estadístico utilizado es un modelo completamente aleatorio que estima el rendimiento total por hectárea y los parámetros biométricos altura de la planta, diámetro del tallo, longitud y diámetro de panoja, longitud de la raíz, finalmente el grado de saponina y la función de producción. como resultado obtuvo que el aumento de la dosis de riego permite mejorar paulatinamente el rendimiento de la quinua, resultando el mayor (4,53 t/ha) en el tratamiento L5 y el menor (3,32 t/ha) en el tratamiento L1, así como la altura de planta, diámetro de tallo, longitud y diámetro de la panoja, pero no hay diferencia significativa en la longitud de la raíz y el nivel de saponina. La función de producción muestra que el rendimiento total aumenta proporcionalmente con la dosis de tratamiento.



2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Quinua.

2.2.1.1 Origen y clasificación taxonómica.

La quinua es un cultivo alimenticio que ha sido ampliamente cultivado en las regiones andinas durante aproximadamente 5.000 años por las culturas precolombinas y fue utilizado en la dieta de los habitantes de los valles andinos, zonas más altas y frías, como de altiplanos. Ocupa una posición importante después del maíz entre los cereales andinos (Mujica, 1992).

Heiser & Nelson (1974) citado por Mujica et al. (2001) señalan que históricamente, la quinua estuvo muy extendida en América del Sur, desde Nariño en Colombia hasta Tucumán en Argentina y las Islas Chiloé en Chile. También fue cultivada en los valles de México por las culturas precolombinas Azteca y Maya en los valles de México, denominándola Huauzontle, pero se usa solo como un vegetal de inflorescencia. Este caso podría explicarse como una antigua migración de la quinua porque compartía características de grano similares, era conespecífica, además por haberse obtenido descendencia al realizarse cruzamiento entre ellos.

Clasificación taxonómica

Según Apaza et al. (2013) la clasificación taxonómica se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Taxonomía de la quinua.

Posición taxonómica de la quinua	
Reino:	Vegetal
División:	Fanerógamas
Clase:	Dicotiledóneas
Sub clase:	Angiospermas
Orden:	Centrospermales
Familia:	Chenopodiaceae
Género:	Chenopodium
Sección:	Chenopodia
Subsección:	Cellulata
	Chenopodium quinoa
Especie:	Willdenow

Fuente: Apaza et al. (2013).

2.2.1.2 Descripción botánica

La quinua es una planta herbácea anual dicotiledónea con características especiales en morfología, color y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas cultivadas y distribuidas geográficamente. Presenta una gran versatilidad y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar. Altamente resistente a los factores climáticos adversos que afectan a los cultivos como la sequía, las heladas y la salinidad del suelo (Apaza et al. 2013).

El período de vegetativo varía de 90 días a 240 días y se adapta a suelos ácidos de pH 4,5 y suelos alcalinos de pH 9,0. También crece en suelos arenosos hasta arcillosos. El color de la planta también varía de verde a rojo, púrpura oscura, amarillo, naranja granate y demás gamas que se puedan diferenciar según el genotipo y la etapa fenológica (Apaza et al., 2013). Del mismo modo la altura



de planta varía desde 0,20 a 3 m, según condiciones ambientales y genotipo. La Inflorescencia se caracteriza por ser racimosa (panoja con inflorescencias en glomérulos) con flores pequeñas, incompletas, sésiles, del mismo color que los sépalos. Pueden ser hermafroditas, pistilos o androestériles. Los estambres tienen filamentos cortos que sostienen anteras basifijas y el estilo tiene de dos a tres estigmas plumosos. El fruto es un aquenio indehiscente y está protegido por perigonio. Semillas de 1 a 2,6 mm, blancas, amarillas, rojas, moradas, marrones o negras. Hojas con pleomorfismo pronunciado: romboides, en forma de delta o triangulares. Raíz primaria, densamente ramificada (Mujica et al., 1992).

2.2.1.3 Fenología de la quinua

La quinua tiene distintas fases fenológicas que pueden ser utilizados para identificar los cambios que ocurren durante el desarrollo de la planta, de los cuales se han señalado doce fases fenológicas (Mujica et al., 2001)

En la siguiente tabla muestra la duración de las fases fenológicas según Mujica et al. (2001).

Tabla 2. Fases fenológicas del cultivo de quinua.

Fases fenológicas	
Fases	Días
Emergencia	7 a 10
Dos hojas verdaderas	15 a 20
Cuatro hojas verdaderas	25 a 30
Seis hojas verdaderas	34 a 45
Ramificación	45 a 50
Inicio de panojamiento	55 a 60
Panojamiento	65 a 70
Inicio de Floración	75 a 80
Floración o antítesis	90 a 100
Granos lechosos	100 a 130
Grano Pastoso	130 a 160
Madurez Fisiológica	160 a 180

Fuente: Mujica et al. (2001)

2.2.1.4 Variedad Salcedo INIA

La quinua Salcedo INIA se obtuvo a partir de la introducción de material genético de un cruce entre los cultivares "real boliviano" y "Sajama" en Patacamaya mediante selección en panoja en surco. El material genético se introdujo a través del Programa Nacional de Cultivos Andinos en 1989. En un primer momento se seleccionaron plantas aptas a las condiciones agroecológicas de las zonas de cultivo de quinua del departamento de Puno; En los ensayos de rendimiento de semilla, estabilidad fenotípica, control y producción 1989-1995 (Apaza et al., 2013).

Se adapta al Altiplano de 3800-3950 msnm zona agroecológica con clima semiárido frío, precipitaciones 400-560 mm, temperatura 6°-17°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con un pH de 5.5-7.8. Valles interandinos y costa 640-1314 msnm, temperatura máxima 24-25 °C sobre suelo arenoso (Apaza et al., 2013).

En la figura 1 se muestra la fenología y duracion del periodo vegetativo de la variedad Salcedo INIA.



Figura 1. Fenología de la variedad de quinua Salcedo INIA

Fuente: Apaza et al. (2013)

2.2.1.5 Hojas de quinua

Características

Las hojas tienen dos partes diferentes: el peciolo y la lámina. El peciolo de las hojas es largo y acanalado, su longitud depende del origen; los peciolos que salen directamente del tallo son más largos y las ramas más cortas. El color del peciolo puede ser verde, rosa, rojo y morado (Gómez & Aguilar, 2016).

La lámina de la hoja tiene tres venas principales que se originan del peciolo. Las láminas son polimórficas en la misma planta. Las láminas de la planta o el follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados. El número de dientes puede variar de 3 a 20. Las hojas y las partes tiernas de la planta están generalmente cubiertas con una pubescencia vesicular granular blanca, rosada o púrpura. Esta pubescencia granular contiene oxalato de calcio capaz de absorber agua del medio ambiente e incrementar la humedad



relativa de la atmósfera que rodea las hojas, influenciando el comportamiento de las células guarda de las estomas; por lo tanto, en la transpiración. El color de la lámina predominantemente es verde; en algunas variedades puede observarse hojas de color verde-púrpura. Cuando están maduros, las hojas se tornan amarillos, anaranjados, rosados, rojos o morados (Gómez & Aguilar, 2016).

Usos

- **Consumo humano**

El consumo de quinua tiene varios usos en la nutrición humana, siendo el grano el producto más utilizado por los humanos. Sin embargo, hay varias formas tradicionales de consumir la quinua. En el altiplano boliviano del Perú, las hojas tiernas de la parte basal de la planta (antes del panojamiento) se recolectan y se consumen como verdura fresca o cocida (Mujica et al., 2001); las hojas de quinua se denominan llipch'a o lliqch'a en quechua y en Aymara ch'iwa se llama a las hojas tiernas de la quinua, que son cocidas y se usan para preparar guisos y ensaladas (la quinua es una pariente cercana a la espinaca) (Tapia, 2012).

El consumo de hojas tiernas de quinua forma parte de los hábitos alimentarios tradicionales en las comunidades donde se produce la quinua. (Mujica et al., 2001). Sobre todo, de diciembre a febrero. Cuando las plantas han alcanzado un tamaño de unos 30 cm, se realiza un deshije en el campo para que las plántulas se puedan consumir frescas, preferiblemente en el mismo día. A menudo las preparaciones son en sopas (Tapia, 2012).

A su vez Muñoz et al. (1990), citado por Mujica et al. (2001) manifiestan que las hojas y plántulas tiernas se usan como sustitución de las hortalizas de hoja (Acelga, Espinaca, Col, etc.), hasta la fase fenológica de inicio de panojamiento



(hojas) y plántula hasta la fase de ramificación; con ellas se prepara: ensaladas, crema de hojas de quinua, sopa de llipcha de quinua.

Cabe mencionar que el valor nutricional de la hoja de quinua se compara con el de la espinaca. Los nutrientes concentrados en las hojas tienen bajas concentraciones de nitratos y oxalatos, que se consideran ingredientes alimentarios perjudiciales (Bazalar et al., 2013).

- **Uso medicinal**

Las aplicaciones de la quinua en la medicina tradicional se conocen desde la antigüedad. Las comunidades del altiplano y del valle mencionan que los curanderos Kallawayas (en Aymara significa portadores de yerbas medicinales) utilizaban la quinua muchas veces con fines curativos e incluso mágicos, las partes que se usaban para este propósito son: los granos, los tallos y las hojas (Fundacion PROINPA, 2011).

Según Zalles et al. (2006) citado por Fundacion PROINPA (2011) las hojas frescas de quinua, consumidas ya sea en sopas o segundo, es el remedio indicado contra el escorbuto y otras enfermedades causadas por la avitaminosis o la deficiencia de vitaminas.

- **Valor nutricional**

La característica principal de la quinua es que los granos, las hojas y las flores son fuentes de proteínas de muy buena calidad. Así mismo, las hojas contienen gran cantidad de vitaminas y minerales, especialmente calcio, fósforo y hierro (Fundacion PROINPA, 2011).

En muchas zonas de la región de los Andes, las hojas tiernas antes de la floración se utilizan como una hortaliza de hoja apta para el consumo humano



debido a su alto valor nutricional ya que contiene vitaminas, minerales y proteínas de alta calidad, recibiendo el nombre de Ilipcha en quechua y Chiwa en Aymara, encontrando alto contenido de proteínas (3.3% en promedio), siendo la variedad blanca amarga la de mayor contenido (4.17 %) y Sajama la de menor contenido (2.79%), el contenido de proteínas en las hojas de la quinua, en base a la materia seca varía entre 17.3 g % (real de Bolivia) y 23.7 g % (blanca real) y es también una buena fuente de minerales y vitaminas. Las hojas tiernas se consumen crudas en ensaladas o cocidas (Mujica et al., 2001).

Por otro lado, Malpartida (2017) en su estudio encontró que la variedad Illpa INIA tiene un mayor contenido de proteína 5.51%, seguida de INIA 420 Negra Collana, Amarilla Sacaca INIA, Salcedo INIA, INIA 433 Santa Ana/AIQ/FAO e INIA 415 Pasankalla con valores cercanos a 4.13; 4.15; 4.23; 4.29 y 4.36% respectivamente.

2.2.2 Demanda hídrica de la quinua

2.2.2.1 Definición

Allen et al. (1998) definen la necesidad hídrica de los cultivos como la cantidad de agua requerida para reponer la pérdida a causa evaporación del cultivo.

León et al. (2015) citando a FAO (2011) describe a la quínoa como un cultivo rústico, de bajos requerimientos hídricos y de nutrientes. Adaptable a diferentes condiciones climáticas desde desérticas hasta templadas: el cultivo puede crecer de seco a húmedo (80% humedad relativa en el ambiente). La temperatura adecuada del cultivo es de 15-20 °C, pero tolera temperaturas de -4 °C a 38 °C. Es una planta eficiente en el uso de agua capaz de crecer en suelos de



baja humedad y salinidad así mismo producir rendimientos razonables con 100-200 mm de precipitaciones.

Veas (2005) citado por Leiva et al. (2017) afirma que la quinua es un organismo eficiente en el uso del agua, posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten tolerar y resistir el déficit de humedad del suelo. Sin embargo, la escasez de agua puede causar efectos de proporciones variables, desde daños menores con reducciones relativas en la producción hasta pérdidas significativas de rendimiento (Gómez & Aguilar, 2016). Esto depende del tipo y etapa del cultivo durante la escasez de agua. Los estados fenológicos sensibles a déficit hídrico son: Emergencia y plántula temprana, inicio de ramificación, inicio de floración y grano lechoso (Leon , 2003). Asimismo, la falta de agua en la etapa inicial puede retrasar la floración, lo que a su vez prolonga el período de floración y maduración del grano (Pinto , 2019).

La quinua bajo invernadero tiene alta tolerancia al estrés hídrico y los diferentes mecanismos morfológicos, fisiológicos y metabólicos implicados en ello (Gámez, 2018).

2.2.2.2 Coeficiente único de cultivo de la quinua.

García et al. (2002) afirman que los factores K_c para la quinua varían según la fase fenológica del cultivo.

En la siguiente tabla se muestra los valores de K_c obtenidos por Choquecallata et al. (1992).

Tabla 3. Evapotranspiración máxima (Em) lisimétrica, ETo método de Penman y Kc de la quinua Patacamaya (1989/1990).

Periodo	Em (mm/día)	ETo(mm/día)	Kc	Fase fenológica
15/12/89-17/12/89	2.8	4.85	0.58	Cuatro hojas verdaderas
05/01/90-10/01/90	2.77	4.40	0.63	Inicio de panojamiento.
11/01/90-16/01/90	3.12	4.25	0.73	Panojamiento
26/01/90-31/01/90	3.32	3.68	0.90	Inicio de floración
03/02/90-11/02/90	4.21	4.16	1.01	Floración o antesis
13/02/90-20/02/90	4.54	4.19	1.08	Floración o antesis
01/03/90-08/03/90	4.71	4.12	1.14	Inicio de grano lechoso
10/03/90-19/03/90	4.08	4.06	1.00	Fin de grano lechoso
23/03/90-05/04/90	3.25	4.17	0.78	Grano pastoso

Fuente: Choquecallata et al. (1991)

2.2.3 Manejo del cultivo

2.2.3.1 Preparación del suelo

Para el éxito del establecimiento del cultivo es muy importante preparar un semillero adecuado y en este caso el suelo debe ser muy esponjoso, evitar la presencia de terrones que impidan la correcta emergencia de la plántula de quinua y que tenga suficiente humedad para favorecer la germinación. También se deben evitar los suelos irregulares y/o que se saturan fácilmente, se debe diseñar un buen sistema de drenaje para que las plantas no se inunden, ya que esto provoca la pérdida de la población. Un aspecto importante a considerar es la composición físico-químico del suelo. De esta manera podemos planificar una estrategia de fertilización que mejorará nuestra producción, por eso es importante la preparación de suelo (Castillo et al., 2019).

Trazado de surcos

En surcos, esta es una de las mejores formas de siembra, se hacen surcos a una distancia de 0,4-0,6 metros. esto hace que sea más fácil llevar a cabo



correctamente las labores agrícolas como el deshierbo, deshije y necesariamente el aporque para dar mayor soporte a las plantas (Calla, 2012).

Con Riego:

- Riego por goteo, las semillas deben ser colocadas a unos 5-10 cm de la cinta de goteo. Puede colocarse en doble hilera (Gómez & Aguilar, 2016).
- Riego por gravedad, las semillas deben ser colocadas en el costillar del surco a unos 10 cm del fondo (Gómez & Aguilar, 2016).

Siembra

La humedad del suelo es importante para una buena germinación de las semillas. Además, si el suelo está húmedo, el tapado es más superficial (1 a 2 centímetros). La profundidad de siembra recomendada no debe superar los 3 centímetros (Calla, 2012).

Las semillas se recomiendan a razón de 10-12 kg/ha en terrenos costeros o llanos y en suelos con buena humedad. En zonas de altiplano o valles interandinos, en condiciones de secano, se recomienda poner más semillas de 15 – 20 kg/ha, especialmente en campos con suelos pedregosos, pendientes pronunciadas y superficiales y debido a que se secan muy rápidamente por la alta radiación solar característica de estas regiones (Gómez & Aguilar, 2016).

Abonamiento

La fuente de fertilizante orgánico más utilizada es el estiércol animal. Su uso no solo aporta nutrientes a la planta, sino que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. La cantidad de nutrientes varía según el tipo de animal y su método de alimentación, así como el método de manejo del agricultor. Así mismo, se puede utilizar compost, ya que es un desecho orgánico que es biodegrado



durante el compostaje. Su valor nutritivo depende de la naturaleza de los residuos orgánicos que lo forman (Gómez & Aguilar, 2016).

Fertilización

La quinua es muy exigente en nutrientes en su mayoría de nitrógeno y calcio, moderadamente exigente en fósforo y potasio, los niveles de fertilización dependen de la riqueza de nutrientes del suelo, para ello se debe realizar un análisis de suelo correspondiente, así como considerar con qué cultivo se viene rotando (Perez, 2005).

2.2.3.2 Labores culturales

Las labores culturales son medidas que permiten que el cultivo crezca y se desarrolle mejor, redundando en una mayor competitividad frente a las malas hierbas que aparecen durante su ciclo productivo. Así, factores como la selección del sitio, época de siembra, densidad de semillas utilizadas, fertilización, riego, control de enfermedades e insectos, entre otros, son de gran importancia para que el cultivo pueda mantener un crecimiento adecuado y logre a la brevedad un cubrimiento de la sobre y entre hilera (Castillo et al., 2019).

2.2.4 Invernaderos

2.2.4.1 Definición de invernadero

Maroto (1989) citado por Lenscak & Iglesias (2019) define como invernadero a un recinto delimitado por una estructura de madera o metal, recubierta de vidrio o plástico transparente, en la que se cultivan hortalizas y plantas ornamentales, generalmente en un momento en que las condiciones climáticas externas no permiten obtener el producto deseado.



Gálvez (2015) citado por Ventura (2018) afirma que un invernadero suministra de manera racional todos los factores que intervienen en el desarrollo de las plantas, los invernaderos son actualmente una de las mejores opciones para la producción de alimentos en general. Así mismo, aseguran la producción y calidad de determinados cultivos que no alcanzan su potencial productivo en campo abierto. El propósito de un invernadero es proporcionar y mantener un entorno de crecimiento que genere el máximo rendimiento y calidad de cultivo. La construcción de la estructura debe brindar protección contra el viento, la lluvia, el calor, el frío, las plagas y las enfermedades. Los elementos estructurales y de cubierta deben permitir la máxima transmisión luminosa al cultivo.

2.2.4.2 Tipos

Según Estrada (2012) en el altiplano existen muchos modelos de invernaderos con los que se obtienen buenos resultados. Algunos modelos se construyen en la superficie y otros son semisubterráneos porque se construyen excavando en el suelo. Estos invernaderos pueden ser familiares, comerciales o industriales. Los modelos con mejores resultados son:

- Modelo de una caída o media agua
- Modelo de dos caídas
- Modelo de túnel

Por otro lado, en países como Chile existe muchos tipos de invernaderos, en función de la forma que se adopte y los materiales utilizados, sin embargo, se utilizan al menos tres tipos o formas: caseta, túnel y capilla (Alvarado , 2003). En España los invernaderos multitúnel y Parral de plástico flexible son muy habituales para la producción hortícola, combinando una estructura una estructura de acero galvanizado con una cubierta polietileno de dos campañas de duración,



altura próxima a 2.5, a veces con propiedades termoaislantes, y sistema de sujeción de la cubierta (García et al., 1999)

2.2.4.3 Producción de hortalizas en invernaderos

Las condiciones climáticas adversas en la mayoría de las zonas altas como granizo, nevadas, heladas, temperaturas extremadamente bajas y alta radiación solar no permiten cultivar hortalizas a campo abierto, lo que reduce la disponibilidad de dichos alimentos y por ende limita el acceso y los hábitos de consumo (Estrada, 2012).

El cultivo de hortalizas bajo invernaderos, facilita una mayor diversificación productiva, porque permite obtenerlas fuera de temporada, con una mayor precocidad al reducir los ciclos vegetativos de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos, mediante una atmósfera interior controlada, además de aumentar los rendimientos. Los invernaderos utilizan y aprovechan la radiación solar de una forma eficiente, la cual es absorbida, reflejada y transmitida al interior de ellos, de acuerdo a los diversos materiales que lo componen (Lobos, 2022).

2.2.5 Evapotranspiración de referencia E_{To} y evapotranspiración de cultivo E_{Tc} en condiciones de invernadero

2.2.5.1 Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de muchas superficies diferentes, como lagos, ríos, caminos, suelo y vegetación húmeda (Allen et al., 1998).



2.2.5.2 Transpiración

La transpiración implica la evaporación del agua líquida en el tejido vegetal y su posterior liberación a la atmósfera. Las plantas pierden agua principalmente a través de las estomas. Estos son pequeños agujeros en las hojas de las plantas a través de los cuales los gases de las plantas y el vapor de agua ingresan a la atmósfera (Allen et al., 1998).

La cantidad de agua transpirada por las plantas es mucho mayor que la cantidad necesaria para su crecimiento y fotosíntesis. Por tanto, la transpiración puede considerarse como el consumo de agua de la planta, y también hay que tener en cuenta que las pérdidas se producen cuando el agua se evapora del suelo (Calvache, 2012).

2.2.5.3 Evapotranspiración

La combinación de dos procesos diferentes en los que se pierde agua a través de la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos se denomina evapotranspiración (ET) (Allen et al., 1998).

2.2.5.4 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin limitaciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas (Allen et al., 1998).

Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_o es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET_o expresa la capacidad de evaporación de la atmósfera

en un lugar y época específicos del año y no tiene en cuenta las características del cultivo ni los factores del suelo (Allen et al., 1998).



Figura 2. Representación de la evapotranspiración de referencia

Fuente: Allen et al. (1998)

2.2.5.5 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)

La evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar se denomina ETc y se refiere a la evapotranspiración de cada cultivo cuando está libre de enfermedades, bien fertilizado y que se desarrolla en parcelas amplias, en condiciones óptimas de suelo y agua, con un rendimiento máximo de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes (Allen et al., 1998).

La cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como el requerimiento de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración (Allen et al., 1998).

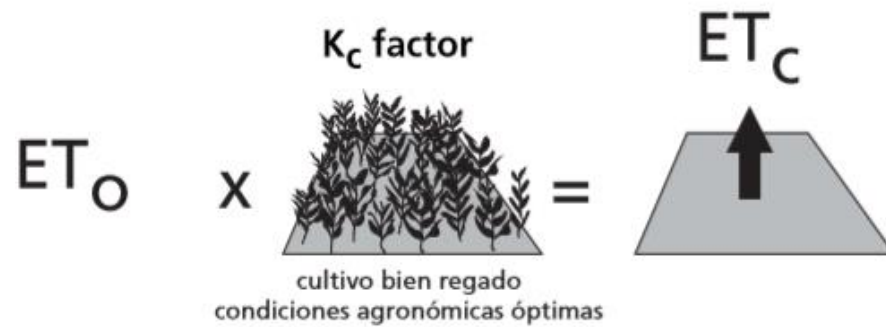


Figura 3. Evapotranspiración en condiciones estándar.

Fuente: Allen et al. (1998)

2.2.5.6 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_c)

a)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_c a) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ET_c debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ET_c (Allen et al., 1998).

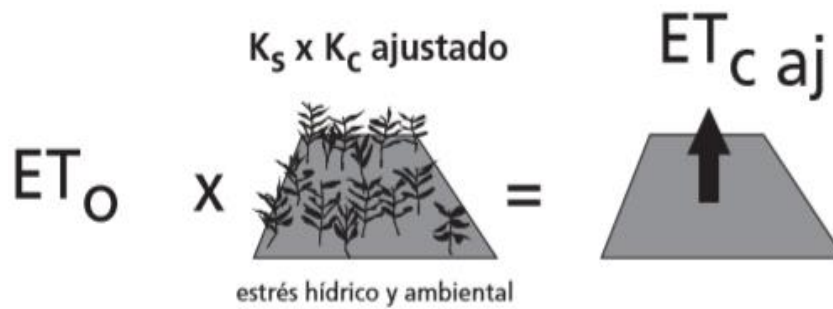


Figura 4. Evapotranspiración en condiciones no estándar

Fuente: Allen et al. (1998)

2.2.5.7 Factores que afectan la evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el entorno de crecimiento son factores que afectan la evaporación y la transpiración (Allen et al., 1990)

2.2.5.8 Variables climáticas

Los parámetros climáticos más importantes que afectan a la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios métodos para determinar la evaporación, basados en estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0). La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) representa la pérdida de agua de un cultivo convencional (Allen et al., 1998).

Fernández et al. (2001) citando a Baeza (2000) señala que, el viento bajo condiciones de invernadero no afecta directamente el consumo de agua, pero afecta en la ventilación del invernadero. Sin embargo, en la mayoría de los invernaderos, el área de la ventana es baja, al igual que la ventilación. Por lo tanto, el efecto del viento sobre el consumo de agua de los cultivos puede considerarse casi insignificante.



La temperatura no afecta directamente a la ETc, pero es un indicador de la cantidad de radiación que en los meses con mayor radiación también tienen temperaturas más altas (Fernández et al., 2001).

Por otro lado, Fernández et al. (2001) citando a Garzoli (1989) afirman que la temperatura y la humedad afectan la DPV (diferencia de presión de vapor). La alta humedad, cercana a la saturación, puede reducir la ETc e impedir la absorción de nutrientes, especialmente calcio, y causar enfermedades.

2.2.5.9 Factores de cultivo

Se debe considerar el tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo al estimar la evapotranspiración en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en la evapotranspiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características de las raíces del cultivo dan como resultado diferentes niveles de ET para diferentes tipos de cultivos, incluso en condiciones ambientales idénticas (Allen et al., 1998).

2.2.5.10 Manejo y condiciones ambientales

Los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, el uso limitado de fertilizantes, la presencia de horizontes de suelo duros o impermeables, la falta de control de enfermedades y parásitos y el manejo deficiente del suelo pueden limitar el desarrollo de los cultivos y reducir la evapotranspiración. Otros factores a considerar al estimar la ET son el área de tierra, la densidad de cultivos y el contenido de agua del suelo. El efecto del contenido de agua del suelo sobre la ET está determinado principalmente por la cantidad de déficit hídrico y el tipo de suelo. Por otro lado, demasiada agua en el suelo provoca la saturación del suelo,

lo que puede dañar el sistema de raíces de la planta y reducir su capacidad para extraer el agua del suelo por la inhibición de la respiración (Allen et al., 1998)

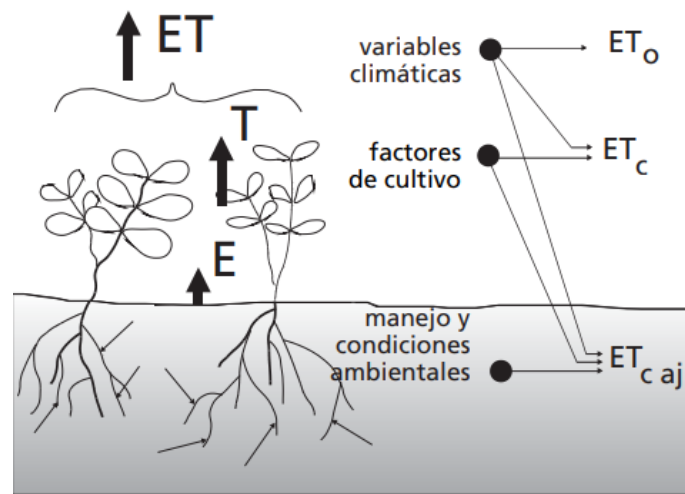


Figura 5. Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ET

Fuente: Allen et al. (1998)

2.2.6 Determinación de la evapotranspiración (ET)

El requerimiento de agua de las plantas se obtiene como la suma de la evaporación directa del suelo y la transpiración de las plantas, lo que se denomina evapotranspiración, y la cantidad varía según el cultivo y el clima. (Calvache, 2012)

Existen métodos de campo para medir la evapotranspiración, cuyos resultados pueden correlacionarse con factores climáticos para el desarrollo, validación o calibración de modelos. Este método se utilizó en otros lugares y condujo a algunas ecuaciones empíricas. La mayoría de estas ecuaciones que se han propuesto para estimar la evapotranspiración pierden su sensibilidad cuando se aplican a diferentes condiciones climáticas y agrícolas, debido a que los estándares en cuestión no son universales y en su mayoría son válidos solo para



las condiciones climáticas y agrícolas específicas en las que originalmente fueron desarrollados. (Treviño, 2004)

La elección de los métodos de calibración puede conducir a la decisión de calibrar los métodos más simples en lugares donde las estaciones meteorológicas solo registran la temperatura del aire ambiente, mientras que en las estaciones meteorológicas que tienen equipos de medición de velocidad del viento, radiación solar, evaporación, entre otros, se pueden recomendar métodos más complejos (Treviño, 2004).

Existen varios métodos para calcular la evapotranspiración, que van desde métodos de cálculo directo utilizando lisímetros o balance de humedad del suelo hasta métodos indirectos basados principalmente en ecuaciones empíricas de variables climáticas. (Anton et al., 2002).

Los métodos directos e indirectos más comunes para determinar la evapotranspiración potencial o de referencia son:

- Lisímetro
- Gravimétrico
- Tanque de evaporación.
- Métodos o fórmulas empíricas (Hargreaves, Serruto, Penman, Blaney –
- Criddle, Jensen – Haise, entre otros)



2.2.6.1 ET calculada con datos meteorológicos

Ecuaciones empíricas

A excepción de método del tanque evaporímetro tipo A, se emplean unas fórmulas que reflejan el efecto de la radiación neta sobre la evapotranspiración (Pizarro, 1996).

Las ecuaciones empíricas de variables climáticas, más sencillas son los basados en medidas de temperatura. Thornthwaite (1948) y Blaney y Cliddle (1950). Existen otras ecuaciones empíricas similares que dependen de la radiación solar, como el método de Priestly-Taylor y Jensen Haise, mientras que otras combinan la temperatura y la radiación solar. Las fórmulas basadas en una combinación de balance de energía y transporte convectivo de vapor de agua, como la ecuación de Penman-Monteith, son más rigurosas (Anton et al., 2002).

El sol emite una radiación cuya intensidad es prácticamente constante, pero que al incide en la superficie de la tierra es variable en el tiempo y geográficamente en función a muchos factores. A su vez, la superficie terrestre, como todos los objetos a temperatura superior al cero absoluto, emite radiación de onda larga con una intensidad también en función a varios factores. Si se hace un balance entre la radiación que incide en determinada superficie y la radiación que emite el resultado es la radiación neta (R_n) (Pizarro, 1996).

Al estimar ET, los efectos de la cobertura del cultivo, como el área foliar, y la etapa de crecimiento, como la maduración, está relacionados con ET_{ref} por un factor que varía con el desarrollo del cultivo. Este factor suele denominarse coeficiente de cultivo o curva de coeficiente de cultivo (Jensen & Allen, 2016).

Fernandez et al, (2010) En su trabajo se evaluaron distintos métodos para calcular ETo en cultivos bajo plástico en clima mediterráneo y se establece que la ecuación de Hargreaves-Samani (1985) modificada por la transmisividad del plástico, tiene una correlación de 0,97 con el valor medido mediante una estación agroclimática completa situada dentro del invernadero.

$$ET_o = 0.023 * R_{as} * \tau * (T_{max} - T_{min})^{\frac{1}{2}} * (T + 17.8)$$

Dónde: Ras es la radiación solar extraterrestre (mm/día), τ es la transmisividad del plástico que es la relación entre la radiación solar dentro y fuera del túnel, y T, Tmax y Tmin son la temperatura media, máxima y mínima del aire dentro del túnel.

En caso de no disponer de sensor de radiación, los valores de radiación en el invernadero se pueden estimar a partir de los datos medidos en el exterior y el valor de la transmisividad, que es en función del material de cobertura, tipo de cobertura, encalado, etc. (Fernández et al., 2001).

$$R_{s_{inv}} = R_{s_{ext}} * \tau$$

Donde, $R_{s_{ext}}$ es la radiación solar medida en exterior y τ es la transmisividad de la cubierta.

Fernández et al. (2001) citando a Allen et al. (1998) afirma que este modelo tiene una ventaja sobre el modelo Tanque en que es aplicable a todos los tipos de invernaderos y condiciones de cultivo cuando se conoce τ . Dado que la mayoría de los invernaderos no tienen sensores climáticos, este modelo permite el uso de datos de radiación externa medidos desde estaciones meteorológicas cercanas porque la radiación recibida en un área a la misma latitud es similar.



Fernández et al. (2001) afirma que el modelo de Hargreaves, basado únicamente en la temperatura, dio las peores estimaciones porque la diferencia de temperatura es mucho mayor dentro del invernadero que fuera. Por otro lado, el modelo FAO Tanque fue la expresión más precisa para la estimación a corto plazo de ETo en un invernadero de plástico. Los modelos Penman-FAO y Radiación-FAO fueron igualmente precisos. Sobre la escasa importancia de la velocidad del viento dentro del invernadero.

2.2.6.2 Tanque evaporímetro tipo A

La cantidad de la evaporación del tanque llenó de agua se obtiene fácilmente. En ausencia de la lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período de tiempo día en (mm día⁻¹) corresponde con la disminución de la profundidad del agua en ese período. Los Tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, del viento, de la temperatura y de la humedad en la evaporación de una superficie abierta del agua. Sin embargo, existen diferencias en el agua y la superficie del cultivo. El pan (evaporación) tiene que proveer un valor práctico y ser usado satisfactoriamente para estimar la evapotranspiración de referencia, mediante la observación de la pérdida de evaporación de la superficie del agua y aplicando coeficientes empíricos para estimar la evapotranspiración (Treviño, 2004).

Doorenbos y Pruitt, (1977) citado por Treviño (2004) afirma que el modelo FAO-Tanque es la expresión más precisa para estimar la ETo a corto plazo en condiciones de invernadero, incluso sin calibración. Sin embargo, su aplicación tiene dos desventajas: por un lado, la información sobre la humedad relativa, la velocidad del viento y la distancia a favor del viento desde el techo verde) dentro del invernadero es necesaria para calcular los valores de Kp



(coeficiente) correspondientes del tanque). Por otro lado, el fetch (distancia entre el tanque evaporímetro y la cubierta vegetal) para condiciones exteriores es mucho más difícil de definir para condiciones de invernadero, donde las paredes del invernadero aíslan del exterior.

Así mismo, en Almería se calibró esta expresión para condiciones bajo invernadero, obteniendo un valor de K_p de 0.79 esto se mantuvo constante durante la temporada debido a una pequeña variación estacional de la humedad relativa y la velocidad del viento dentro del invernadero (Linares, 2012).

Por su parte el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2015) en Chile realizaron evaluaciones de campo comparando los requerimientos de agua en tres sistemas de producción, el primero en un sistema de exclusión de malla antiáfido, el segundo en un invernadero de polietileno y en un sistema de producción al aire libre. Se utilizaron bandejas de evaporación clase A para determinar la demanda de agua dentro y fuera de las estructuras de polietileno y malla, obteniendo así una correlación entre ambas condiciones. Esas estimaciones dieron diferentes necesidades de agua en cada condición de un mismo sector; esto se debe principalmente a la variación de los factores ambientales, que en conjunto determinan la evaporación de referencia (E_{To}) y la demanda de agua (L/m^2 día-1) del lugar. En este sentido, la oscilación térmica bajo la malla tuvo variaciones con respecto al aire exterior, la humedad relativa fue mayor y la radiación solar se redujo, factores relacionados con la ausencia de viento, lo que reduce la necesidad de agua en este tipo de construcciones.

Un tanque de clase a es circular, de 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Está construido en hierro galvanizado o de lámina de metal (0,8

mm). El tanque se coloca sobre una base de madera en forma de reja, que está a 15 cm por encima del suelo. Una vez instalado y nivelado el tanque se llena con agua 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe caer más de 7,5 cm por debajo del borde. Para eliminar la turbidez, el agua debe cambiar regularmente, al menos una vez por semana. Si el tanque es galvanizado, se debe pintar con pintura de aluminio todos los años y deben estar protegidos con redes de seguridad para evitar la entrada de animales. Así mismo, se debe evitar poner mallas sobre los tanques (Allen et al., 1998).

El nivel al que se mantiene el agua en el tanque es importante; Si el nivel del agua en el tanque de un evaporador clase A está 10 centímetros por debajo del estándar aceptado, que es de 5 a 7,5 centímetros por debajo del borde, pueden ocurrir errores de hasta un 15% (Allen et al., 1998).

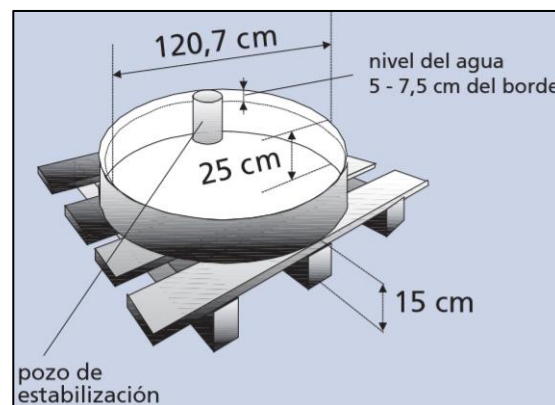


Figura 6. Dimensiones del tanque evaporímetro tipo A

Fuente: (Allen et al., 1998)

La evaporación del tanque está vinculada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$ET_0 = K_p * E_{pan}$$

Donde:

ET₀: evapotranspiración de referencia (mm día-1)

K_p: coeficiente del tanque evaporímetro

E_{pan}: evaporación del tanque evaporímetro (mm día-1)

Para elegir el tipo de coeficiente de tanque, además de la cobertura del suelo, se debe comprobar la estación, su entorno y las condiciones de viento y humedad. La ubicación del tanque y el medio ambiente del tanque también afectan los resultados. Esto es especialmente si el tanque se coloca en un campo despejado o cultivado. En general, se consideran dos casos: Tipo A, donde el tanque está ubicado en una cubierta verde corta (cobertura de pasto) y está rodeado por el suelo de barbecho; y el Caso B, donde el tanque se encuentra en suelo de barbecho y está rodeado de cultivo verde (Treviño, 2004).

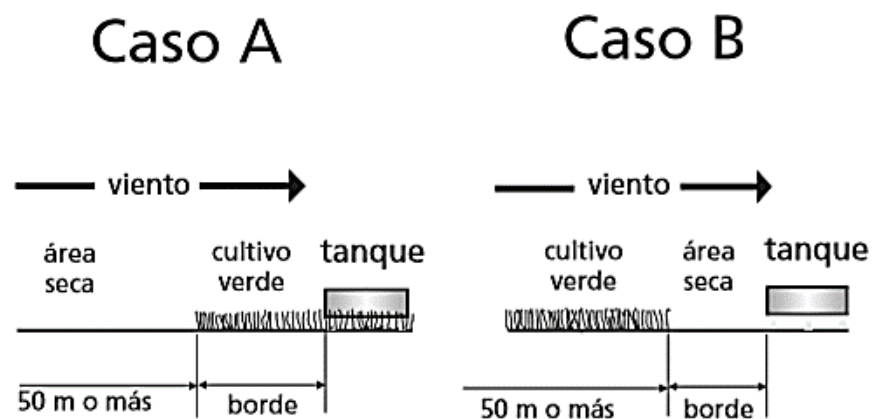


Figura 7. Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores

Fuente: Allen et al. (1998)

Evapotranspiración del cultivo

Cuando la evapotranspiración se produce sin ninguna restricción de agua en el suelo se conoce como evapotranspiración del cultivo (ET_c) y corresponde a la cantidad de agua que debe ser aportada al suelo estacionalmente mediante lluvia y/o riego (Calvache, 2012).

La evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día

ET_o = Evapotranspiración de referencia, en mm/día

K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional)

2.2.6.3 ET determinada por medio de lisímetros

Pereira (2013) citado por Alves et al. (2015) describe el lisímetro como una caja impermeable, que contiene un volumen de suelo que permite conocer en detalle algunos términos del balance hídrico del volumen muestreado, y los tipos más utilizados son los de drenaje, los de napa freática constante y los de pesaje.

El lisímetro es uno de los métodos más antiguos y puede proporcionar estimaciones confiables, lo que permite un cálculo preciso de las condiciones del balance hídrico. Los lisímetros se pueden dividir en dos categorías: de pesaje y de no pesaje (Alves et al., 2015).

Un lisímetro de balance de agua o de drenaje es un dispositivo que permite medir el agua que se suministra a la planta y determinar la cantidad de agua que se drena, por lo que la cantidad de agua consumida por la planta se calcula a partir

de la diferencia entre ambos valores se obtiene la cantidad de agua consumida por la planta (evapotranspiración) (Sellés et al., 2012).

El requisito para los lisímetros es que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica (misma altura e índice de área foliar). Este requerimiento no se cumple a menudo en muchos estudios de lisímetro, dando como resultado datos muy distorsionados y poco representativos para los valores de ET_c y K_c (Allen et al., 1998)

El suelo debe ubicarse dentro del lisímetro en el mismo orden que los horizontes, y sus espesores y propiedades deben corresponder aproximadamente a las condiciones naturales (densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, etc.) (Florez et al., 2017).

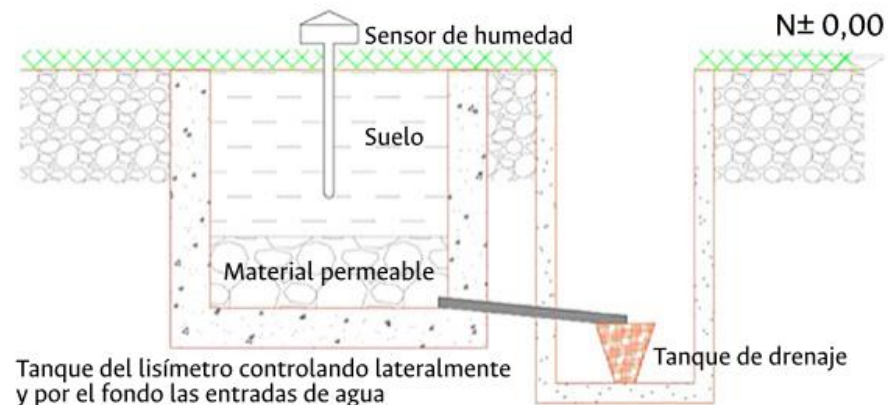


Figura 8. Esquema de un lisímetro de drenaje

Fuente: (Flórez et al., 2017)

2.2.6.4 Balance hídrico

Midiendo diariamente la cantidad de agua aportada por los distintos componentes del balance hídrico y la cantidad de agua recogida en el drenaje, se obtiene la cantidad de evapotranspiración que, al dividirla por la superficie del lisímetro, se obtiene la evapotranspiración por unidad de tiempo (Flórez et al., 2017).

El sistema formado por suelo y cultivos tiene entrada y salida de agua. En general, estas cantidades son desiguales y el contenido de agua del suelo varía, lo que refleja el papel del suelo como reservorio. En términos generales, se puede expresar que la cantidad de agua que ingresa al conjunto formado por el suelo y las plantas menos la cantidad que sale es igual al cambio en el contenido de agua del suelo (Fernandez et al.,2010).

La ecuación general de balance hídrico puede ser expresada como:

Entradas - Salidas = Cambio en el contenido de humedad del suelo ($\Delta\theta$)

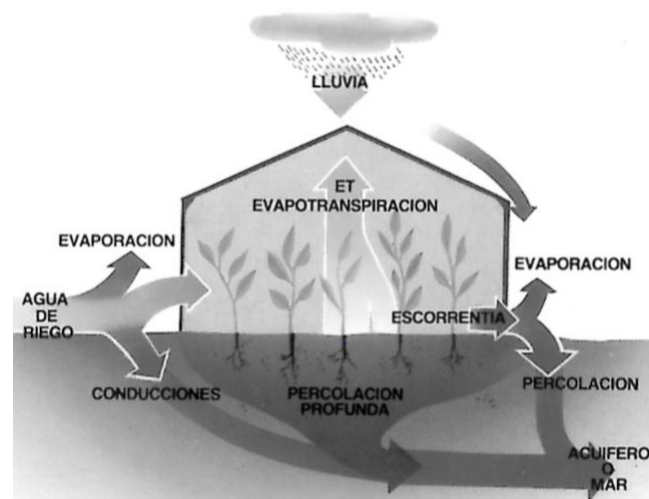


Figura 9. Balance de agua en parcela en un invernadero.

Fuente: Fernández et al, (2001)

Las entradas que pueden ser medidas o contabilizadas son: Precipitación P (mm), Riego R (mm), Escorrentía de entrada E_i (mm) y de salida E_s (mm), Percolación profunda P_p (mm), Aporte por capilaridad A_c (mm) y el cambio del contenido de humedad del suelo $\Delta\theta$. La ET como una variable de salida del sistema es evaluada a partir del balance hídrico o de masas que se realice (Florez et al., 2017).

La relación de balance hídrico que se aplica en lisímetros es la siguiente:

Precipitaciones + Riego = E_{To} + Infiltración + Δ Almacenamiento



Debido a que el movimiento del agua en el suelo es relativamente lento, los lisímetros de infiltración o drenaje solo son precisos durante períodos de tiempo más o menos largos, y se recomienda determinar la evapotranspiración por promedios semanales, quincenales o mensuales (Coletti et al., 2012).

2.2.7 Programación de los riegos en invernadero

Las técnicas de programación del riego permiten decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades del cultivo, y su importancia se hace evidente cuando el agua es un recurso escaso (Fernández et al., 2001).

En la figura 10. Se muestra un esquema para calcular las necesidades hídricas de un cultivo en riegos localizados de alta frecuencia.

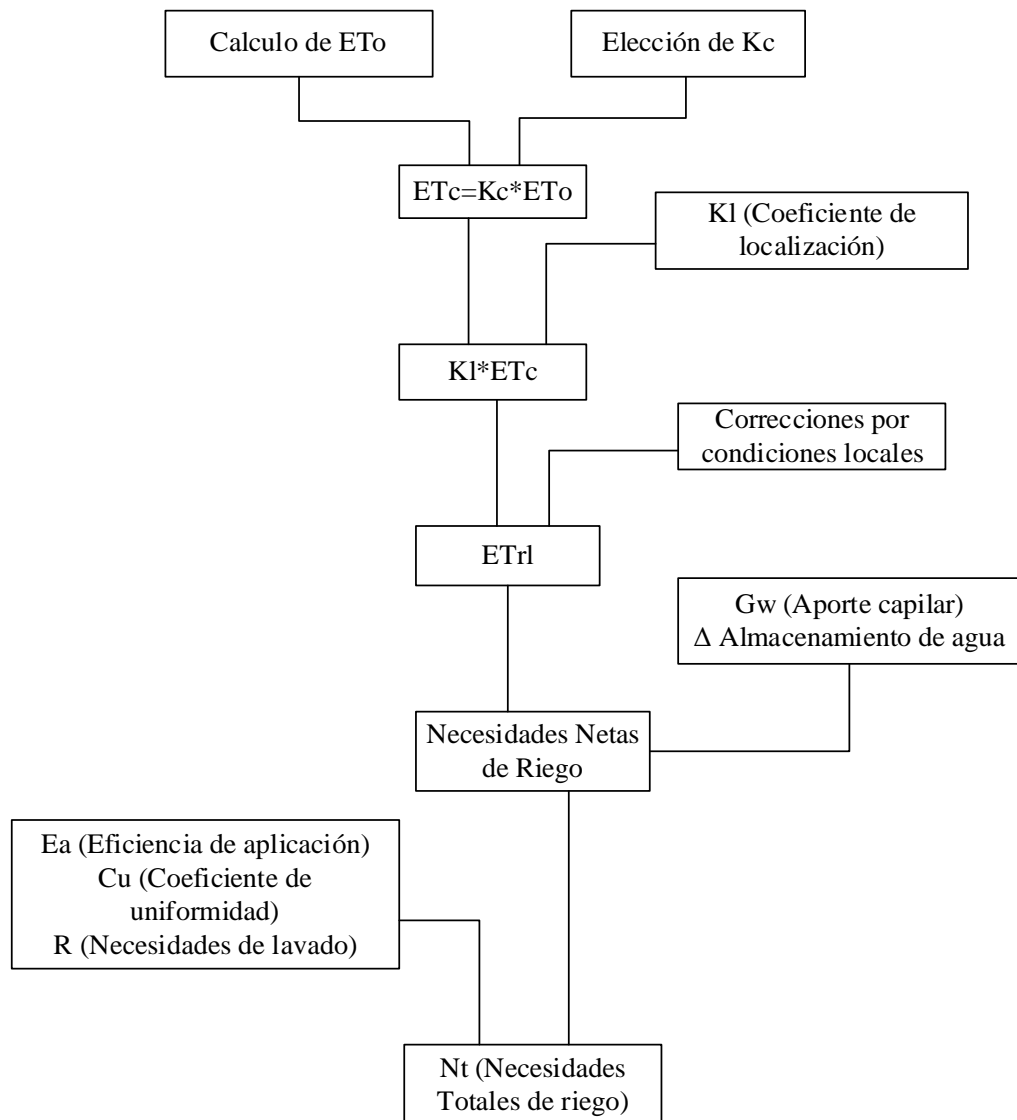


Figura 10. Esquema de cálculo de las necesidades netas de agua en riegos localizados de alta frecuencia.

Fuente: (Pizarro, 1996)

2.2.7.1 Metodologías para determinar la lámina de riego en invernadero.

Un método utilizado es la medida de la evaporación de la lámina de agua de un tanque de evaporación. Para que los resultados sean válidos el tanque tiene que estar colocado en las mismas condiciones que los cultivos, en el interior del invernadero (Castañón, 2000).

Este método tiene la ventaja de utilizar un único aparato de medida, sin necesidad de técnicos calificados para la obtención de datos (Castañón, 2000).



2.2.7.2 Lamina netas

Necesidades netas de riego de los cultivos; constituyen el volumen que el sistema de riego debe suministrar a la zona radicular de los cultivos (Martínez, 2004).

Las necesidades de los cultivos vienen determinadas por la evapotranspiración (Castañón, 2000).

La cantidad de agua que necesita el cultivo y se ha de suministrar con el riego o requerimientos netos 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 (Fernandez et al., 2010).

Pizarro (1996) menciona que la variación de almacenamiento de agua del suelo generalmente no se debe tener en cuenta para el cálculo de las necesidades punta: los RLAF pretenden mantener próximo a cero el potencial hídrico del suelo, lo que consiguen respondiendo con alta frecuencia el agua extraída.

Fereres (1996) citado por Fernández et al. (2001) también manifiesta que cuando se utilizan sistemas de riego por goteo, debido a la alta frecuencia de riego, el papel del suelo como reservorio de agua generalmente se suele ignorar y se supone que el contenido de agua en el suelo no cambia con el tiempo. Por tanto, bajo invernadero la programación del riego se simplifica, ya que no hay que preocuparse por determinar el momento del riego y el proceso de planificación se centra en la cantidad de agua que se debe aplicar en función de las estimaciones de ETc.

$$L_n = ETc$$

Donde, L_n es la lámina de riego neto y ET_c es la evapotranspiración del cultivo.

2.2.7.3 Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo K_c describe la variación en la cantidad de agua que una planta extrae del suelo durante el desarrollo, desde la siembra hasta la cosecha (Calvache, 2012).

K_c es el coeficiente de cultivo y representa la disponibilidad del cultivo y el suelo para satisfacer la demanda de evaporación de la atmósfera, depende del cultivo específico, su etapa de desarrollo y la disponibilidad de agua en el suelo. Los valores de K_c deben determinarse experimentalmente (Fernández et al, 2001).

Lo mejor es contar con valores de K_c para cada cultivo sembrado en el área y en diferentes fechas de siembra, pero si falta esta información, se pueden utilizar los valores de K_c de referencia que se dan en las bibliografías especializadas (Calvache, 2012).

La mayoría de los métodos usados para calcular los coeficientes de cultivo asumen una relación entre la ET_o y la ET_c del cultivo, es decir $ET_c = ET_o * K_c$. Si despejamos la expresión anterior, obtenemos:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Allen et al. (1998) proponen un método gráfico para elaborar la curva del K_c en estudios previos o de planificación en el que solamente se necesitan de tres valores de K_c para la descripción y elaboración de esta curva. Esta curva, se crea a través de los pasos siguientes: 1. Dividir el período de crecimiento en las cuatro etapas generales que describen la fenología o desarrollo del cultivo (inicial,



desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final); 2. Determinar la duración, en días, de las cuatro etapas de crecimiento e identificar los tres valores de K_c que corresponden a K_c inicial, K_c de mediados de la temporada y K_c final. Ajustar los valores de K_c según la frecuencia del humedecimiento o las condiciones climáticas de las etapas de crecimiento; 3. Construir una curva uniendo segmentos de línea recta a través de cada una de las etapas de crecimiento. Se trazarán líneas horizontales a través de K_c inicial en la etapa inicial y a través de K_c de mediados de temporada. Se trazarán líneas diagonales desde K_c inicial hasta K_c med durante la etapa de desarrollo del cultivo y desde K_c med hasta K_c fin durante la etapa final.

2.2.7.4 Lamina bruta

Necesidades totales de riego de los cultivos; corresponde a la cantidad de agua que debe consumir un sistema de riego en particular a nivel de parcela (Martínez, 2004).

Todos los sistemas de riego pierden agua desde la entrada a la parcela hasta la zona de las raíces de las plantas cultivadas. La suma de estas pérdidas al requerimiento neto de riego constituye el requerimiento de riego total (Martínez, 2004).

Dado que el requerimiento de riego calculada a partir de ET_o y ET_c es la dosis neta, la falta de uniformidad del sistema de riego y la necesidad de lavado deben tenerse en cuenta al calcular el requerimiento de riego total (Fernández et al., 2001).



$$Lb = \frac{Ln}{Ea}$$

Dónde:

Lb: lámina bruta

Ln: lámina neta

Ea: eficiencia de aplicación.

Frecuencia de riego

Fernández et al. (2001) define la frecuencia de riego (Fr), también llamada intervalo de riego (Ir), como el número de días que transcurren entre dos riegos consecutivos o número de días que el cultivo consume agua del suelo por evapotranspiración, expresado como:

$$Fr = \frac{Ln}{ETc}$$

Donde

Ln: lámina neta

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Rafliff et al. (1983) citado por Marcias (2009) afirman que, para un diseño de riego localizado, se obtiene el intervalo para los días de mayores necesidades del cultivo, el intervalo en este método de riego fluctúa de 1 a 3 días, de tal manera que el agua esta fácilmente utilizable en el suelo, tendiendo a obtener la máxima producción del cultivo, ya que la disponibilidad del agua no es la limitante.



Si la frecuencia de riego es igual a 1 día la lámina neta será igual a la evapotranspiración del cultivo entonces se expresará de la siguiente manera:

$$Lb = \frac{ETc}{Ea}$$

2.2.7.5 Eficiencia del sistema de riego.

La eficiencia del riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que permanece en el suelo después del riego en comparación con el agua utilizada. Por lo general, se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados (Nuñez, 2015).

2.2.7.6 Coeficiente de uniformidad

Según Fernández et al, (2001) por diversas razones, los emisores en los sistemas de riego por goteo no entregan exactamente el mismo caudal de agua, lo que ocasiona que los cultivos reciban dosis de riego diferentes. El coeficiente de uniformidad (CU) se puede utilizar para medir la uniformidad de un sistema de riego, y se define como el cociente del caudal medio emitido por el emisor de más bajo caudal y el caudal medio de todos los emisores.

Por tanto, la dosis de riego bruto (Rb) se calcula teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego.

$$Lb = \frac{ETc}{CU}; Rb = ETc * f$$

Tabla 4. Valores de factor de mayoración (f) en función del coeficiente de uniformidad de la instalación de riego por goteo.

CU	f
100	1,00
95	1,05
90	1,11
85	1,18
80	1,25
75	1,33

Fuente: (Fernández et al., 2001)

2.2.7.7 Necesidades de lavado de sales

Ayers & Westcot (1976) citado por Fernández et al. (2001) manifiestan que el agua de buena calidad tiene el potencial para permitir la máxima producción si se siguen prácticas acertadas en su manejo. La mala calidad del agua provoca problemas en el suelo y los cultivos provocando reducción en los rendimientos, a menos que se utilicen técnicas agrícolas especiales, como el lavado de sales. Un alto contenido de sales disueltas en el suelo reduce el potencial osmótico y requiere un esfuerzo adicional por parte de las raíces para absorber agua. Esta menor absorción de agua por parte de la planta puede provocar un crecimiento reducido o más lento y una producción reducida. Cuando la cantidad de sal acumulada en el suelo excede un umbral dependiente del cultivo, la producción disminuye linealmente con el aumento de sal en el suelo.

2.2.7.8 Riego en invernadero

El riego localizado es más utilizado en invernaderos, por las evidentes ventajas que presenta (Castañon, 2000).

Los invernaderos por sus pequeñas dimensiones no suelen presentar no suele presentar problemas para un correcto diseño del riego. La poca longitud de



las ramas provoca pérdida de carga pequeñas, por lo que la presión de los emisores es bastante pareja, con la consiguiente buena uniformidad de distribución (Castañon, 2000)

El goteo está perfectamente adaptado a los cultivos en líneas, típicos de la horticultura, tendiendo los ramales a lo largo de las hileras de plantas, lo que facilita otras tareas de cultivo. Esto se debe a que es conveniente utilizar la hilera intermedia, a diferencia de otros tipos de riego no se humedecen. Por esta razón se logra un menor consumo de agua, debido a la menor evaporación producida desde el suelo, dependiendo del porcentaje mojado (Castañon, 2000).

Riego

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua al perfil del suelo para restituir el agua utilizada por la planta entre dos riegos sucesivos (Gurovich, 1985).

El riego agrícola puede definirse como una técnica o práctica de producción. (Gurovich, 1985).

Riego por goteo

El riego localizado utiliza tuberías de presión y emisores de varias formas para suministrar agua a la superficie del suelo o por debajo de ella, de modo que solo se humedezca la parte del suelo más cercana a las plantas. El agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo llamado bulbo húmedo. (Fernández et al., 2010).

Los emisores distribuyen el agua puntualmente depositando gota a gota sobre el terreno (Castañon, 2000).



Goteros

Un gotero es un aparato permanente en el ramal de riego, destinado a liberar agua de manera controlada, gota a gota o mediante un pequeño chorro (Castañon, 2000).

Programación de riego

La programación de riego por goteo incluye la determinación y el análisis del porcentaje de suelo húmedo, la lámina de riego, la evapotranspiración del cultivo, el coeficiente de uniformidad del sistema de riego, intervalo y el tiempo de riego (Martínez, 1991).

Según Jensen & Robb (1970) citado por Fernández et al. (2001) las técnicas de planificación del riego le permiten decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para satisfacer las necesidades de los cultivos. Cuando el agua es un recurso escaso y su costo es alto, su importancia se hace evidente. Ante la certidumbre de obtener una disminución en la producción con un riego deficitario y unido a la falta de información sobre las necesidades de agua de los cultivos puede provocar un riego excesivo. Sin embargo, el exceso de riego sofocará las raíces, lo que resultará en menores rendimientos y mayores costos de agua y fertilizantes.

2.2.7.9 Volumen de riego

Fernández et al. (2001) plantean que la cantidad de agua de riego a aplicar en un invernadero es:

- a) Si la instalación de riego del invernadero cuenta con contador

$$\text{consumo} * \text{superficie} = \text{riego}$$



b) Si la instalación de riego del invernadero no posee contador y el riego se debe programar por tiempo.

$$\frac{\text{consumo}}{\text{caudal} * \frac{\text{goteros}}{m^2}} * 60 = \text{riego}$$

Porcentaje de superficie mojada

Jensen et al. (1990) citado por Martínez (1991) definen el porcentaje de suelo mojado como el área mojada en relación a al área total del cultivo, cuanto mayor sea el volumen del suelo mojado, menor será la posibilidad de que se produzca un imprevisto stres hídrico, cuando se amplía el intervalo entre riegos por alguna avería en la instalación, ya que se aumenta la posibilidad de utilizar la reserva de agua del suelo.

Área mojada por emisor

El bulbo húmedo es la parte de suelo humedecida por un emisor de riego localizado. Los emisores de riego localizado aplican el suelo con agua, creando pequeños charcos. El aumento del riego aumenta el tamaño del bulbo húmedo, pero a su vez el suelo se humedece más, la velocidad de infiltración del agua disminuye y con ello el bulbo húmedo aumenta su tamaño más despacio (Fernández et al., 2010).

Fernández et al. (2010) menciona que la forma del bulbo húmedo está determinada principalmente por el tipo de suelo. Los suelos pesados (arcilla) tienen tasas de infiltración más bajas que los suelos ligeros (arenosos), lo que aumenta el tamaño del charco y hace que el bulbo se expanda horizontalmente que en profundidad. Si se aplica la misma cantidad de agua a tres suelos con

diferentes texturas, la forma del bulbo cambia aproximadamente de la siguiente manera:

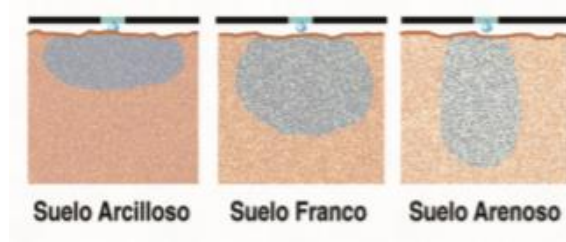


Figura 11. Bulbo húmedo en diferentes tipos de suelo.

Fuente: (Fernández et al., 2010)

Numero de emisores

Por otra parte, la profundidad del bulbo estará relacionada con la velocidad de infiltración del suelo y con el tiempo de aplicación. Por esta razón, se deben considerar los factores que afectan la forma del bulbo húmedo al determinar el número de emisores a colocar y el caudal que deben proporcionar para lograr una buena distribución del agua en el suelo (Fernández et al., 2010).

2.2.8 Relación de Agua, planta y suelo

2.2.8.1 Contenido de agua en el suelo

El suelo consta de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida comprende en partículas minerales y materia orgánica, esta última representa un pequeño porcentaje excepto en suelos orgánicos. Los espacios no ocupados por la fase sólida forman poros del suelo y son ocupados por las fases líquida y gaseosa (Pizarro, 1996).

Como el contenido de humedad del suelo fluctúa en este sistema localizado, se recomienda el uso de tensiómetros para facilitar el control del riego

y garantizar que los niveles de humedad del suelo se mantengan compatibles con la producción prevista (Castañón, 2000).

2.2.8.2 Determinación de la humedad del suelo

Calderón & Van den Berg (2004) mencionan los métodos directos e indirectos para determinar la humedad del suelo los cuales son.

Métodos directos

- Método directo o gravimétrico

El cálculo se realiza mediante la siguiente relación:

$$masa(\%) = \frac{masa\ de\ agua}{masa\ de\ suelo\ seco} * 100$$

La desventaja de este método es el tiempo que demora la determinación.

Métodos indirectos

Existen otros métodos indirectos para determinar la humedad en campo, tales como:

- Tensiómetros.
- Resistencia Eléctrica mediante bloques de yeso o fibra de vidrio.
- Sonda de neutrones.
- Reflectometría.

Tensiómetros

Hay dos tipos de tensiómetros: los de manómetros y de mercurio. Un tensiómetro manómetro consiste en un tubo cuyo extremo inferior se coloca una capsula cerámica porosa, con un manómetro de vacío en su extremo superior, herméticamente sellado (Pizarro, 1996).

Un tensiómetro consta de una cápsula de cerámica porosa llena de agua que se entierra en el suelo a la profundidad de medición deseada y está conectada



mediante un tubo lleno de agua a un manómetro o vacuómetro. El suelo ejerce una tensión (tensión matricial) sobre el agua de la columna, que hace que la altura del agua en ella descienda, pasando al suelo y provocando por tanto una presión negativa. Un tensiómetro mide directamente la energía (mostrada en un vacuómetro en centibares, cb), el esfuerzo requerido por las raíces para extraer agua del suelo. Valores por debajo de 10 cb indican saturación del suelo, mientras que valores superiores indican que la cantidad de agua almacenada en el suelo está disminuyendo y puede estar ocurriendo estrés hídrico (Fernández et al. 2001).

Potencial mátrico

El potencial de matrico (Ψ_m) es generado por mecanismos de retención de agua (adhesión y cohesión) en el suelo (Pizarro, 1996).

Cuanto más seco sea el suelo, menor será el potencial de la mátrico y mayor será la presión que se debe aplicar para extraer el agua del suelo (Pizarro, 1996).

La relación humedad – potencial mátrico varia para cada tipo de suelo.

2.2.8.3 Estados de humedad del suelo

Capacidad de campo

Con el drenaje continuo, llega un momento en que no se pierde más agua del suelo. Se dice que esta condición es cuando la tierra está en capacidad de campo (CC). Los poros más pequeños retienen agua por gravedad, mientras que los poros más grandes están ocupados principalmente por aire. Esta situación es muy propicia para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la succión de



las raíces al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración de las raíces (Pizarro, 1996).

Punto de marchitez

La evaporación y la transpiración de las plantas pueden hacer que el contenido de agua caiga por debajo de la capacidad de campo, esto sucede porque las partículas de agua circundantes se vuelven cada vez más pequeñas, y a medida que el contenido de agua disminuye, las raíces absorben menos agua, llegando a una condición llamada punto de marchitez (P.M), donde se vuelve muy difícil para la planta tomar agua del suelo y experimentan marchitez irreversible (Pizarro, 1996).

Estrés hídrico

El estrés hídrico se puede definir como una situación en la que la transpiración de las plantas es insuficiente (Pizarro, 1996).

El estrés hídrico que puede sufrir un cultivo no provoca los mismos resultados a lo largo del ciclo vegetativo, produciendo precocidad en los primeros estados de desarrollo (Pizarro, 1996).

Propiedades físicas del suelo

2.2.8.4 Densidad aparente

Se denomina densidad aparente, y se representa por d_a , al cociente de dividir la masa de un suelo seco (M_s) por el volumen del suelo (V_T). puede variar entre $0,7 \text{ g/cm}^3$ en el caso de suelos volcánicos y $1,8 \text{ g/cm}^3$ en suelos arenosos. Para un mismo suelo varía en función de su compactación (Pizarro, 1996).



2.2.8.5 Densidad real

La densidad real (dr) es el cociente de la masa de suelo seco dividida por el volumen ocupado por las partículas sólidas (Vs). La densidad real del suelo es casi constante en 2,6 g/cm³. Sin embargo, este valor disminuye a medida que aumenta la cantidad de materia orgánica (Pizarro, 1996).

2.2.8.6 Salinidad

Normalmente se consideran aguas con poca salinidad las de una conductividad eléctrica (EC a CE) menor de 750micromhos/cm y salinas las de valores superiores, aunque en algunos cultivos se pueden utilizar sin problemas aguas de hasta 1.500 micromhos/cm=1.5dS/m (Castañon, 2000).

2.2.9 Eficiencia de uso de agua

2.2.9.1 Definición

La “eficiencia en el uso del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” es la proporción de biomasa presente en un cultivo por unidad de agua consumida por el cultivo en un momento determinado (Salazar et al., 2013).

2.2.9.2 Metodología de cálculo

Eficiencia en el uso de agua

Para aumentar la eficiencia en el uso del agua, es necesario aplicar principios racionales y modernos a los suelos a regar (Gurovich, 1985).

Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada (Salazar et al., 2013).

$$EUA = \frac{Producción(Kg)}{Agua utilizada (m^3)}$$



Los invernaderos son sistemas de producción que pueden aumentar la eficiencia del agua al crear un microclima que promueve la fotosíntesis de las plantas, reduce el exceso de evapotranspiración y aumenta los rendimientos (Salazar et al., 2013).

2.2.10 Relación riego-producción de hojas, relación riego-eficiencia de uso del agua y relación riego – Parámetros de crecimiento en el cultivo de quinua.

2.2.10.1 Relación entre el riego y la producción de hojas en el cultivo de la quinua.

En cuanto a la relación del riego y producción de hojas Mendez (2008) manifiesta que a un nivel de humedad del 60 % de CC se alcanzó un mayor número de hojas (17.48 y 22.73) en la 1era y 2da etapas de eliminación de riego y el menor número de hojas con un nivel de humedad del 10 % de CC (15.37 y 10) en la 3era etapa de eliminación de riego.

2.2.10.2 Relación entre el riego y la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de la quinua.

En términos de agua, la quinua es un organismo eficiente a pesar de ser una planta C3. Esto se debe a que la quinua está dotada de mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar a la privación de agua, sino también soportar y resistir la disminución de la humedad del suelo. La quinua crece con una precipitación mínima de 200-250 mm por año y tiene rendimientos aceptables (Mujica et al., 2001)

Las aplicaciones de dosis de riego mayores al 50% de la evapotranspiración del cultivo tienen un efecto directo en la eficiencia de uso del



agua del ecotipo local y las dosis de riego menores un efecto inverso (Chirinos, 2017).

2.2.10.3 Relación entre el riego y el desarrollo de los parámetros de crecimiento del cultivo de la quinua.

Chirinos (2017) afirma que la relación entre el riego y el desarrollo de los parámetros de crecimiento es directa, es decir, a mayor dosis de riego hay una respuesta positiva de los diferentes parámetros estudiados.

Por otro lado, Minchola (2020) en su investigación reportó que los valores medios de las características agronómicas de los dos tratamientos (control riego completo y estrés hídrico) en general mostraron valores similares, indicando claramente la tolerancia de la quinua al estrés hídrico entre los cuatro genotipos estudiados.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo

El primer requisito de cualquier experimento es la manipulación deliberada de una o más variables independientes. Una variable independiente es la que se considera como supuesta causa probable o antecedente de la relación entre las variables. Y el efecto provocado por esta causa se llama variable dependiente. (Aguadelo & Aigner, 2008).

Un diseño cuasiexperimental también manipula deliberadamente al menos una variable independiente para ver cómo se relaciona su efecto con una o más variables dependientes. Sin embargo, en el diseño cuasiexperimental, los sujetos o unidades de observación no se asignan según criterios aleatorios. Sin embargo, estos grupos ya estaban formados antes del experimento y son grupos intactos (Sampieri et al., 1997).

3.1.2 Diseño experimental.

La investigación es de tipo Cuasi -experimental porque no se realizó una aleatorización de las unidades experimentales, sin embargo, se manipulo la variable independiente, resultando cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno.

- T1 100%ETc: Lamina de riego igual al 100% de la evapotranspiración del cultivo.
- T2 80%ETc: Lamina de riego igual al 80% de la evapotranspiración del cultivo.
- T3 60%ETc: Lamina de riego igual al 60% de la evapotranspiración del



cultivo.

- T4 40%ETc: Lamina de riego igual al 40% de la evapotranspiración del cultivo.

3.2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

3.2.1 Ubicación

El trabajo experimental se realizó entre abril y julio del 2021, en la EEA Illpa, en Salcedo, en un invernadero de cubierta de plástico con un área de 12.4 m².

3.2.1.1 Ubicación política

Departamento : Puno

Provincia : Puno

Lugar : Salcedo

3.2.1.2 Ubicación geográfica

Longitud: 70° 0'8.39"O

Latitud: 15°52'52.70"S

Altitud 3826 msnm

3.2.1.3 Localización de la parcela experimental

En la figura 12 se muestra la ubicación del invernadero en el cual se instaló la parcela experimental.

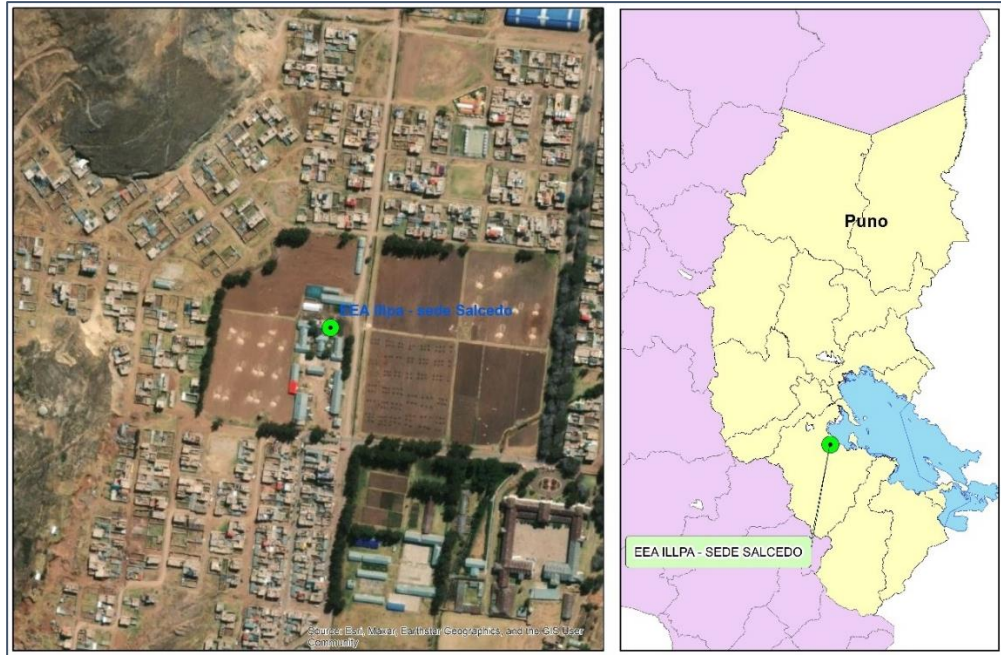


Figura 12. Ubicación del invernadero en Salcedo INIA.

3.2.1.4 Características del invernadero

El invernadero en el que se realizó la presente investigación fue del tipo rústicos y sencillo, con paredes y techos revestidos con láminas de plástico o film amarillo transparente, de 5 metros de largo y 3,5 metros de ancho, con seis ventanas que favorecieron la ventilación natural y una sola puerta de entrada.

3.2.2 Clima

Las temperaturas ambientales registradas durante el desarrollo de la presente investigación, favorecieron las funciones vitales de su ciclo vegetativo del cultivo de quinua, puesto que las temperaturas máximas y mínimas dentro del invernadero llegaron a 36.3 °C y la mínima de -0.1°C. ya que la temperatura media óptima para el cultivo de quinua fluctúa alrededor de 15 – 20 °C. Sin embargo, soporta temperaturas extremas desde 38°C a -8°C. Asimismo, soporta radiaciones extremas que le permite compensar las horas calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo (Romero, 2019).



Según SENAMHI en la estación meteorológica Puno en los meses de abril a julio del 2021 se registraron temperaturas máximas de 16.4 a 17.8°C y las mínimas de -1.6 a 2°C; la temperatura más baja se presentó en el mes de julio (-1.6°C).

Según SENAMHI para Puno, el mes con temperatura más alta es noviembre (16.8°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (-1.3°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de enero (173.72 mm/mes en la zona contigua al Lago Titicaca las estaciones de Puno y Acora registran temperaturas entre los 15,1 °C y 15,3 °C respectivamente (Dias, 2013).

En cuanto a la humedad relativa bajo invernadero en los meses de abril a julio se registró humedades relativas máximas de 36 a 56 % y las mínimas de 12 a 16 %, presentándose las más baja de 12% en el mes de junio.

Por otro lado, la estación meteorológica Puno en los meses de abril a julio del 2021 se registró HR promedio de 58 a 35%; así mismo, las máximas de 91 a 100% y las mínimas de 9 a 14 %, siendo la más baja en el mes de junio.

3.2.3 Suelo

La quinua puede crecer en una amplia variedad de tipos de suelo, siendo los más ideales los suelos bien drenados, semi-profundos y con alto contenido de materia orgánica. Se deben evitar los problemas de riego o inundación del suelo, ya que impiden el desarrollo del cultivo temprano y promueven pudrición de la raíz durante todo el ciclo.

Se cultivaron cultivares de quinua en suelos con un pH de 4,5 (en los valles interandinos del norte del Perú) a 9,0 (en el altiplano boliviano del Perú y en el salar boliviano) (Gómez, 2016).



Según Apaza et al. (2013) la variedad de Salcedo INIA se desarrolla de manera óptima en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 8,0.

La caracterización física del suelo, se determinó por muestreos superficiales hasta 0.35 m de profundidad.

En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis de caracterización del suelo donde se determina que el suelo de la parcela experimental posee una clase textural franco, el cual se caracteriza por tener una buena capacidad de almacenamiento de agua, suficiente permeabilidad al agua y buena aireación.

Por lo que se refiere al pH del suelo, este presentó un valor de 6.78 el cual es neutro. Asimismo, el valor de la conductividad eléctrica indica que el suelo es normal con una salinidad ligera. Respecto a la materia orgánica se tuvo un nivel medio con 2.05 por ciento, por consiguiente, el abastecimiento natural del elemento nitrógeno fue bajo. Por otra parte, el nivel de fósforo fue medio y potasio fue alto.

Tabla 5. Análisis mecánico y macronutrientes del suelo de la parcela.

		Análisis mecánico				CO ₂ Ca		Nutrientes disponibles			
Estrato	Arena	Arcilla	Limo	Textura	Mat. Org.	pH	CE	N. Total	P	K	
	%	%	%		%		mmhos/cm	%	(ppm)	(ppm)	(ppm)
0.00 -0.35	48.32	10.84	40.84	Franco	0.415	6.87	2.55	0.076	10	2629.34	

Fuente: Laboratorios de suelos, aguas y foliares de la EEA Illpa-Salcedo

Tabla 6. Análisis químico y físico del suelo

		Cationes cambiabiles					Análisis físico del suelo				
AL	Ca	Mg	Na	K	CIC	Da	CC	PMP			
meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	gr/cc	%	%			%
0.00	9.50	3.10	5.25	15.70	27.40	1.34	24.28	12.35			

Fuente: Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliares de la EEA Illpa-Salcedo

3.2.4 Análisis de agua

Según el análisis del agua de riego mostrado en la tabla 7, se puede observar que esta agua tiene salinidad alta con PH alcalino (8.01), baja concentración de sodio y muy alta concentración de cloruros. Todo esto se interpreta que existieron riesgos de problemas de toxicidad para al cultivo. Asimismo, esta agua se clasifica como dura.

Tabla 7. Análisis de agua con fines de riego

Análisis	Resultados	Unidad
pH	8.01	
Conductividad Eléctrica	3.06	ms/cm
Sales Totales	0.6	mg/l
Dureza Total (CaCO ₃)	35.06	(G.H.F.)
Alcalinidad total (CaCO ₃)	1740	mg/l
Temperatura	14.9	°C
Oxígeno	4.5	mg/l
CATIONES		
Calcio	60.12	mg/l
Magnesio	48.64	mg/l
Potasio	7.42	mg/l
Sodio	0.92	mg/l
ANIONES		
Cloruros	283.68	mg/l
Sulfatos	63.87	mg/l
Carbonatos	0	mg/l
Bicarbonatos	106.15	mg/l
Nitratos (N de No ₃)	24.8	mg/l
R.A.S.	0.021	
S.C. R	-5.26	

Fuente: Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare de la EEA Illpa-Salcedo

Según (ECA) para Agua establecido por Disposiciones Complementarias del MINAM (2017), el nivel de cloruros para riego es de 500mg/l, bicarbonatos de 518mg/l, conductividad eléctrica de 2.5ms/l, de Nitratos (NO₃⁻-N) + Nitritos (NO₂⁻-N) 100mg/l, oxígeno disuelto valor mínimo 4mg/l, sulfatos 1000mg/l, por lo cual el agua usada en el experimento está dentro del rango aceptable.



3.3 MATERIALES

3.3.1 Parcela experimental

La parcela experimental se instaló dentro del invernadero consta de: cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno haciendo un total de 12 unidades experimentales (lisímetros), un sistema de riego por goteo, equipado con un tanque evaporímetro tipo A, un equipo medidor de temperatura y humedad relativa y un tensiómetro. En la siguiente figura se muestra el esquema de la parcela experimental.

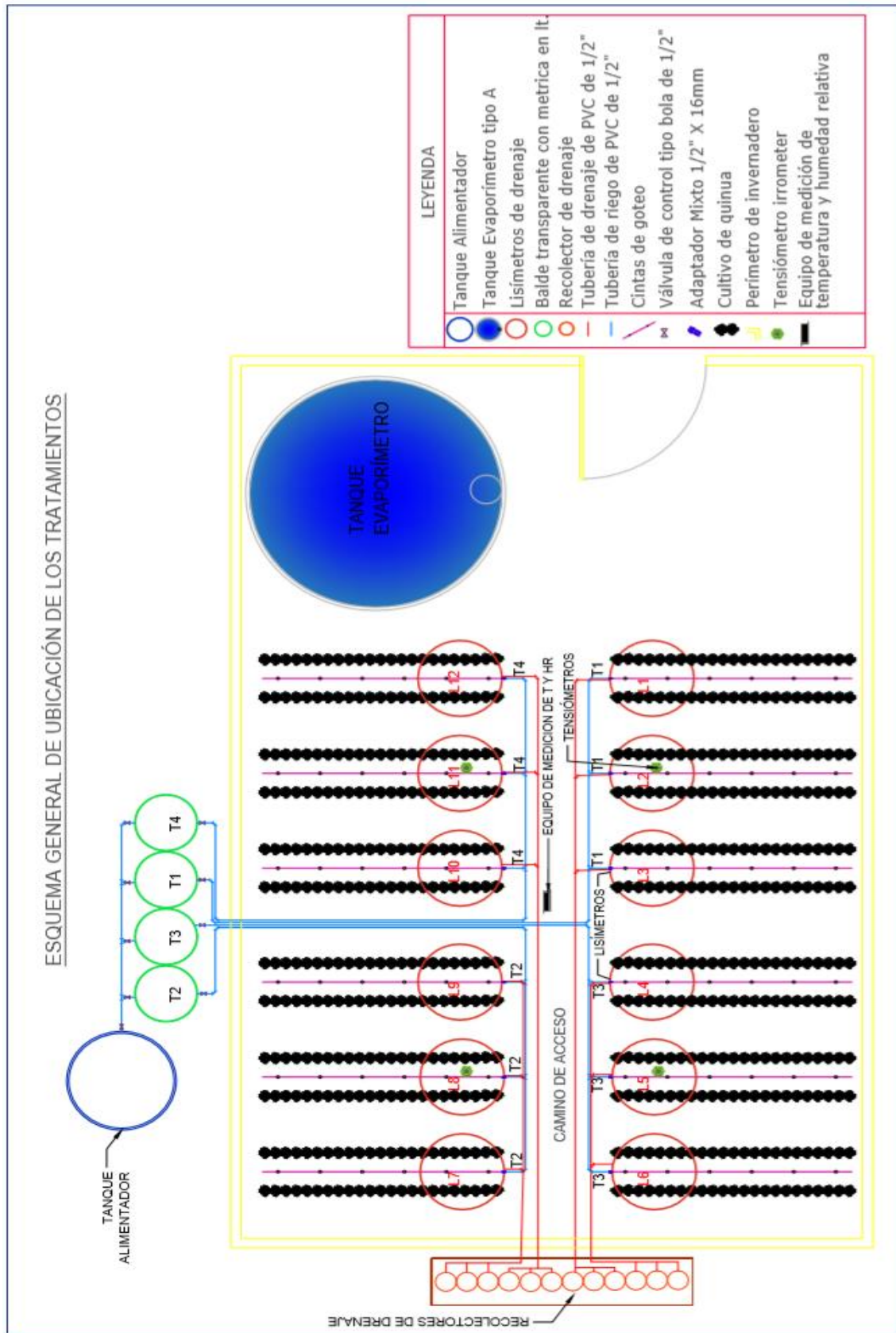


Figura 13. Esquema de la parcela experimental.



3.3.2 Instalaciones y acondicionamiento de la parcela experimental

Riego

La instalación y acondicionamiento de la parcela experimental se realizó desde el 22 de marzo al 18 de abril del 2021.

Las acciones previas se realizaron del 22 de marzo al 2 de abril, período en el cual se realizó la confección de los lisímetros, estructura de elevación del taque de almacenamiento y tanque de evaporación Tipo A.

Del 5 de abril al 16 de abril del 2021 se realizó la instalación de los diversos componentes que incluyó la excavación de la zanja de drenaje y la instalación de los lisímetros de drenaje y accesorios, sistema de riego y de los equipos de medición de parámetros meteorológicos.

El 16 de abril del 2021, se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema de riego y de los lisímetros de drenaje.

El 18 de abril del 2021 se realizó la aplicación del riego abundante o riego machaco.

3.3.3 Materiales utilizados

3.3.3.1 Lisímetros

Se utilizó un total de 12 lisímetros de drenaje para la determinación de la evapotranspiración del cultivo de quinua, que consta de tres tanques de plástico por tratamiento con dimensiones de 42cm de diámetro y 55cm de altura, tuberías para el drenaje y recipientes recolectores de drenaje.



3.3.3.2 Riego

El sistema de riego fue por goteo, adaptado a la posición de la fuente de agua y la colocación del lisímetro. El diseño fue ajustado para el cultivo de quinua con condiciones de riego diario. El sistema de riego por goteo consta de:

- 01 pileta de abastecimiento de agua conectado al sistema de agua potable de EEA Illpa en Salcedo
- 01 línea de aducción de 30 metros de longitud, que conecta la pileta de abastecimiento con el tanque de almacenamiento.
- 01 tanque de almacenamiento de agua, elevado a 2.60 metros sobre el nivel del terreno.
- 04 tuberías de conexión del tanque de almacenamiento a los baldes medidores de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21mm de diámetro.
- 04 válvulas bola de 21 mm de diámetro para la regulación del ingreso de agua a los baldes medidores
- 04 baldes transparentes de medición de volumen de agua elevados a 2.20 metros sobre el nivel del terreno.
- 04 válvulas bola de 21 mm de diámetro para la regulación de salida de agua a la línea de conducción.
- 04 tuberías de PVC SP C-10 Norma Técnica 399.002 de 21mm para la línea de conducción
- 04 tuberías de línea de distribución, 1 para cada tratamiento.
- 12 cintas de 16mm de un caudal de 1 l ph y un espaciamiento 0.20m entre emisores, en cada lisímetro las cintas de riego se acomodaron de manera concéntrica y a 10 cm. del borde exterior de los lisímetros, con el fin de tener dos goteros activos.



3.3.3.3 Material vegetal

Cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Will*) variedad Salcedo INIA, con una pureza del 99.7%, poder germinativo del 93%, de la campaña 2019-2020 y lugar de producción Tacuaco – Yunguyo.

3.3.3.4 Equipos de medición de parámetros meteorológicos.

En el invernadero se instaló un tanque de evaporación tipo A, cuatro tensiómetros y un Termohigrómetro HTC-2 para la medición de la temperatura y humedad relativa.

3.3.3.5 Equipo de medición

- 01 probeta de 1000ml.
- 01 regla graduada.
- 01 balanza electrónica.
- 01 wincha de 1 metros.
- 01 vernier digital.
- Bolsas para recolección muestras de suelo

3.4 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.4.1 Labores agrícolas

3.4.1.1 Preparación de terreno

La preparación del terreno permitió que las plantas de quinua tengan un óptimo establecimiento, enraizamiento y desarrollo. También ayuda a mejorar la distribución de la lámina de agua aplicada a cada tratamiento.

Se realizó la preparación del terreno semana previo a la siembra, una vez mullido y nivelado se efectuó el surcado a 0.45 m, entre surcos.



3.4.1.2 Aplicación de riego machaco

El riego machaco es un riego abundante que se aplicó 2 días antes de la siembra para suavizar en terreno. Además, dotar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la capacidad de campo (CC) necesaria para iniciar el primer riego de los cultivos. Posteriormente, el riego continuo a intervalos de riego regulares repone el agua perdida y evita el agotamiento de las reservas de humedad del suelo.

$$LR = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * da * Pr$$

$$LR = \left(\frac{24.38 - 12.35}{100} \right) * 1.34 * 25$$

$$LR = 4.03 \text{ cm o } 40.3 \text{ mm}$$

Donde:

Pr = profundidad radicular o profundidad de riego en mm

CC = capacidad de campo en %

PMP = punto de marchites permanente en %

Da = densidad aparente.

LR = lamina bruta de riego machaco en cm

3.4.1.3 Siembra

Se día 20 de abril se realizó la siembra de la quinua en surcos melliceros, se utilizó la semilla se quinua a una densidad de 12 kg/ha, obtenido del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). La siembra se realizó utilizando el método de chorro continuo, a una profundidad de aproximada de 1,5 a 2 cm para evitar que las semillas flotarán después de la aplicación del riego. Además, se aplicó compost en los surcos.



3.4.1.4 Abonamiento y fertilización

Según el análisis de suelo se identificó las deficiencias de los macronutrientes, en base a eso se realizó el cálculo la dosis de fertilizantes como nitrógeno a la Urea (46% nitrógeno) y fosforo como Fosfato de amonio, el tipo de fertilización se eligió de acuerdo al material con el que contaba a disposición la Estación Experimental Illpa INIA. La dosis de fertilización fue de 120 de nitrógeno, 100 de fosforo y 80 de potasio la cual fue recomendada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

El abonamiento y la fertilización se aplicaron en la siembra y en el aporque de manera uniforme en todos los tratamientos.

3.4.1.5 Desahije

Se ha establecido 10 plantas por lisímetro, lo que equivaldría a una densidad aproximada de 25 plantas por metro lineal.

3.4.1.6 Aporque

El aporque permite la fijación de las raíces y evitan que la planta se vuelque, especialmente en el caso de las quinuas más altas. Este trabajo se lleva a cabo inmediatamente después del deshierbe y el raleo, el raleo. También puede aplicar fertilizante nitrogenado adicional entre franjas de plantas. (Gómez & Aguilar, 2016)

Se realizó el aporque del cultivo de quinua a los 50 días después de la siembra con la finalidad de mantenerlo erguido y favorecer el desarrollo de las raíces de la planta.



3.4.1.7 Cosecha

La cosecha se realizó el 12 de julio del 2021 en forma manual, cuando la planta llegó a la etapa de inicio de panojamiento, se efectuó con mucho cuidado para no dañarlas las hojas para luego pesarlas para obtener el rendimiento.

3.4.2 Manejo del riego

El riego se realizó de manera diaria en láminas pequeñas controlando la humedad del suelo mediante la observación del potencial métrico del suelo (Ψ_m) medido con los tensiómetros colocados en los tratamientos, se mantuvo entre en rango de 8 a 23 centibares (cBar) para el tratamiento de control T1.

3.4.3 Recolección de datos

3.4.3.1 Datos climáticos

La temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa (%) se registraron diariamente en por la mañana a las 7:30 am, medio día y en la tarde a las 6 pm con un Termohigrómetro HTC-2, instalado a una altura de 1,40m.

3.4.3.2 Potencial matricial del agua en el suelo (Ψ_m)

Diariamente se registró el potencial matricial Ψ_m de agua en el suelo a las 7:30 am, con tensiómetros Irrometer por tratamiento instalados a una profundidad de 0.15m en la etapa inicial y, 0.20 m en la etapa de desarrollo e inicio de panojamiento, se tomó en cuenta la profundidad donde se encuentra el mayor porcentaje de las raíces activas del cultivo para la instalación de los tensiómetros. Asimismo, el tensiómetro se instaló a 10 cm del emisor.

3.4.3.3 Desarrollo y crecimiento del cultivo

El seguimiento del crecimiento se realizó a partir del día 28 después de la siembra se tuvo 10 plantas en cada lisímetro de las cuales se escogieron 2 plantas



al azar por lisímetro haciendo un total de 6 plantas por tratamiento, a las cuales se les realizó una medición en intervalos de 3 días con un flexo y un vernier, los parámetros de medición fueron los siguientes:

- Altura planta, desde la base hasta el ápice de la planta (cm)
- Diámetro de tallo, medido de la parte media(mm)
- Numero de hojas.
- Longitud y ancho de las hojas más representativas

3.4.3.4 Producción de hojas y biomasa

La medición del número de hojas y dimensiones de las hojas, se realizó en un intervalo de 03 días a partir de la etapa fenológica de las 06 hojas verdaderas en los 04 tratamientos.

En la etapa del inicio de Panojamiento a los 83 días después de la siembra se realizó la medición de la biomasa total de las 10 plantas por cada lisímetro y la cosecha de las hojas posterior a ello se calculó el rendimiento kg/m²

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO Y LAMINAS DE RIEGO

3.5.1 Láminas de riego

Las láminas de riego se calcularon con la siguiente expresión:

$$\text{Lamina bruta de riego} = \frac{EV * Kp * Kc}{Efa}$$

Donde EV es la evaporación medida en el tanque evaporímetro; Kp es el coeficiente del tanque; Kc es el coeficiente multiplicador equivalente a reemplazar el coeficiente del cultivo y Efa es la eficiencia de aplicación.



3.5.1.1 Evapotranspiración de referencia (ET_o) y Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se determinó mediante el tanque evaporímetro clase A (E_v), diariamente según la frecuencia de riego.

$$ET_0 = E_v * K_p$$

Donde,

ET_o = evapotranspiración de referencia [mm día⁻¹]

K_p = coeficiente del tanque evaporímetro

E_v = evaporación del tanque evaporímetro [mm día⁻¹]

El tanque evaporímetro se ubicó en un extremo del invernadero, sobre formaleta de madera a 0.15m del suelo.

Cálculo del factor de tanque

Según (Allen, 1998) para el caso B, el coeficiente de factor de tanque se calcula con la siguiente expresión:

$$K_p = 0.61 + 0.00341HR - 0.000162u_2HR - 0.00000959u_2B \\ + 0.00327u_2 \ln(B) - 0.00289u_2 \ln(86.4u_2) \\ - 0.0106 \ln(86.4u_2) \ln(B) + 0.00063(\ln(B))^2 \ln(86.4u_2)$$

Dónde: HR es la humedad relativa media; B es el borde o distancia al borde de la superficie identificada; u₂ es la velocidad promedio diaria del viento a 2 m altura (m s⁻¹)

Selección de K_c del cultivo de quinua

Los valores de coeficiente de cultivo se tomaron como referencia los valores encontrados por Garcia (2017) donde indican que los valores de K_c



obtenidos 0.554 para la etapa inicial: 0.99 desarrollo y 1.271 para la etapa de mediados de temporada.

Cálculo de la eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación, según el CU es de 91 por lo que la eficiencia del riego es del 91%.

Coefficiente de uniformidad del riego

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad se realiza el aforo de los emisores y se utilizó la siguiente expresión.

$$C. U = \frac{q25(\text{promedio de los emisores mas bajos})}{qa(\text{promedio de todos los emisores})} * 100$$

Necesidades de lavado de sales

No se aplicó ya que el cultivo de quinua es resistente a la salinidad.

3.5.1.2 Volumen de agua aplicada

Si la instalación de riego del invernadero cuenta con contador entonces el:

$$LR * A = \text{riego}$$

Dónde: A es el área efectiva calculada a partir del diámetro del lisímetro donde se desarrolló la planta y LR lamina bruta de riego.

3.5.1.3 Programación de riego

El volumen de agua se estableció a partir de las lecturas registradas de la evaporación del tanque evaporímetro tipo A, una vez calculado el volumen se colocó al tanque medición del cual se suministró el riego a los tratamientos.

Fernández et al. (2001) manifiestan que, en la planificación del riego en tiempo real, las estimaciones de ETc se basan en los datos climáticos recopilados



el día anterior y las condiciones específicas del cultivo en ese momento. Este tipo de programación requiere una buena estimación de la ETc diaria.

3.5.2 Balance hídrico

3.5.2.1 Volumen de agua drenado y coeficiente de cultivo (Kc)

Se instaló 12 lisímetros de drenaje, tres para cada tratamiento con dimensiones de 38cm de diámetro y 53cm de altura, con 02 goteros en un área aproximada de 0,12m². El drenaje se registró cada 24 horas después del riego para establecer el balance hídrico y determinar el coeficiente de cultivo (kc). El balance hídrico (ETc-lisímetro) es la diferencia entre la cantidad de agua utilizada para el riego y la cantidad de agua drenada del lisímetro, ± cambio en el contenido de humedad del suelo.

Aplicando riego bajo condiciones de invernadero, el método se simplifica, debido a que no se considerara las precipitaciones y el suelo se mantendrá en condiciones de humedad óptima y el cálculo ahora sería simplificado como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Bh = Riego - Drenaje$$

Donde:

B h = Balance hídrico [litros]

Riego = riego [litros]

Drenaje = drenaje del lisímetro [litros]

El coeficiente de cultivo (Kc), se determina mediante la ecuación de relación de la evapotranspiración del lisímetro y la evapotranspiración de referencia.



$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Donde,

Kc = coeficiente de cultivo

ETc = Evapotranspiración de cultivo del lisímetro [mm]

ETo = Evapotranspiración de referencia [mm]

El consumo de agua para cada tratamiento se midió utilizando el método de balance hídrico a intervalos de 7 días establecidos para medir la evapotranspiración real. Este método se puede utilizar en diferentes escalas de tiempo, como diario, 5 días, semanal, 10 días, 15 días o mensual (Pereira et al. 2007).

3.6 DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCION DE HOJAS DE CULTIVO DE QUINUA

3.6.1 Determinación del rendimiento

Para determinar del efecto de diferentes láminas de riego en la producción de hojas del cultivo de quinua se realiza el cálculo del rendimiento en producción de hojas del cultivo de quinua mediante la siguiente expresión:

$$Rendimiento = \frac{Peso\ de\ hojas(Kg)}{Area\ del\ lisimetro\ (m^2)}$$

3.6.2 Análisis estadístico

Para comparar los resultados en cuanto a rendimiento en producción de hojas por tratamiento, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), utilizando el test F, si las diferencias son significativas se aplica la prueba de post hoc de Tukey, con un nivel significancia del 5% para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS.



3.7 DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DEL CULTIVO QUINUA

3.7.1 Eficiencia en el uso del agua (EUA)

La eficiencia en el uso del agua, también conocida como productividad promedio, es la relación entre el rendimiento del producto (kg/ha) y las unidades de agua (m³/ha) utilizadas en la evapotranspiración. La productividad media se expresa en kg/m³.

$$EUA = \frac{REND}{EVP\ REAL}$$

Donde:

REND: Rendimiento por unidad de superficie de cada lisímetro (Kg. ha⁻¹)

EVP REAL: Evapotranspiración real total del tratamiento (m³. ha⁻¹)

Eficiencia de uso del agua - EUA: Kg. m³

3.7.2 Análisis estadístico

Para comparar los resultados en cuanto a eficiencia de uso de agua (EUA) por tratamiento, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), utilizando el test F, si las diferencias son significativas se aplica la prueba de post hoc de Tukey, con un nivel significancia del 5% para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS.

3.8 DETERMINACION DEL EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA

Se seleccionaron 2 plantas al azar por lisímetro para medir los siguientes parámetros:

3.8.1 Altura de planta.

Se recogieron datos del crecimiento de plantas con una regla graduada con una frecuencia de cada tres días



3.8.2 Diámetro de tallo

Se recogieron datos del diámetro de tallo con un vernier digital con una frecuencia de cada 3 días.

3.8.3 Numero de hojas

El registro del número de hojas se registró cada 3 días hasta el día 83 después de la siembra.

3.8.4 Longitud y ancho de hojas.

Se midió el ancho y largo de la hoja de quinua con una regla graduada cada tres días.

3.8.5 Biomasa

A los 83 días después de siembra se realizó la medición de la biomasa de todas las plantas ubicadas en los lisímetros.

3.8.6 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los parámetros de crecimiento (altura de planta, diámetro de tallo, numero de hojas, longitud y ancho de hojas y rendimiento en biomasa) fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), utilizando el test F, realizándose las comparaciones de medias mediante Tukey a un $\alpha= 0.05$ para la determinación de diferencias significativas en los promedios.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación evaluó la respuesta del cultivo de quinua variedad salcedo INIA con fines de aprovechamiento de hojas como hortaliza a la aplicación de cuatro láminas de agua, ETc100, ETc80, ETc60 y ETc40. Calculadas a partir de un tanque evaporímetro clase A, bajo invernadero en Salcedo.

4.1 CÁLCULO DE LA LÁMINA DE RIEGO EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

4.1.1 Factores climáticos

Las temperaturas máximas dentro del invernadero fluctuaron entre 21.4 y 36.6 °C y las mínimas entre -0.1 y 7.3 °C. Además, la temperatura más baja fue el 04/07/2021 durante los días más fríos en la zona (24 de junio y el 04 de julio). Sin embargo, la quinua no sufrió daños por las bajas temperaturas.

Gracias a su gran variabilidad genética, la quinua se adapta a diferentes climas, desde cálidos y secos, como los climas costeros desérticos, hasta templados lluviosos o secos en los valles entre los Andes y fríos y lluviosos o secos en las altas montañas y en las tierras altas. La temperatura óptima de crecimiento y desarrollo es de 15-25°C, dependiendo de la variedad. Tolera el frío y las altas temperaturas durante el desarrollo vegetativo y la floración, no desde la floración hasta la fase de grano pastoso. Tanto las bajas como las altas temperaturas provocan la esterilidad del polen y afectan el desarrollo y crecimiento de las plantas, provocando esterilidad o granos inmaduros, arrugados o livianos; dependiendo de cuándo se produzca el estrés térmico (Gómez & Aguilar, 2016).

Los valores medios mensuales durante el periodo de evaluación de los datos climáticos dentro del invernadero se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Promedio mensual de datos climatológicos registrados dentro del invernadero.

Mes	T. Máxima (°C)	T. Mínima (°C)	T. Promedio (°C)	Humedad Relativa Max (%)	Humedad Relativa Min (%)	Evaporación (mm)
Abril	29.56	4.92	16.05	52	14	2.18
Mayo	29.95	4.29	15.44	56	16	1.89
Junio	28.62	3.01	14.55	43	12	2.02
Julio	29.37	2.38	14.61	50	13	2.18

Nota: en la tabla se muestra el promedio mensual de datos climatológicos registrados dentro del invernadero durante el 20 de abril al 12 de julio del 2021.

4.1.2 Evapotranspiración de referencia (ET_o) y del cultivo (ET_c)

4.1.2.1 Cálculo de evapotranspiración de Referencia ET_o

Para cada fase fenológica del ciclo vegetativo de la quinua de la variedad Salcedo INIA, se determinaron los valores de la evaporación mediante lecturas directas y diarias del tanque evaporímetro tipo A. En la siguiente figura se muestra la evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada por el método del tanque evaporímetro tipo A.

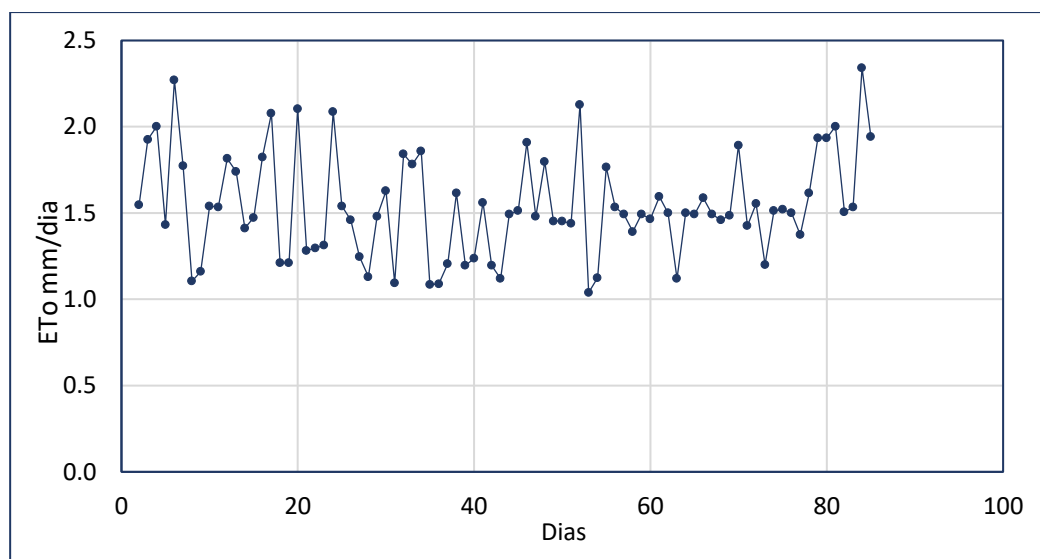


Figura 14. Evapotranspiración de referencia (ET_o) calculado por el método del tanque evaporímetro tipo A situado dentro del invernadero.

Fernández et al. (2001) afirman que diferentes autores coinciden en que la evapotranspiración del cultivo o del cultivo de referencia es menor dentro de los invernaderos que afuera de los mismos y citan autores que subrayan diferencias desde el 45 al 80%. Esto debido a la cubierta de plástico de los invernaderos cambia localmente, el balance de radiación al atrapar la radiación de onda larga y formar una barrera contra la pérdida de humedad.

Según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2015) la evapotranspiración de referencia en condiciones de invernadero de polietileno es menor comparado con lo obtenido a campo abierto.

4.1.2.2 Lamina aplicada.

En la tabla 9 se muestra el resumen del cálculo de las láminas de riego para el tratamiento T1. El cálculo de la lámina de riego se muestra en el anexo 2.

Tabla 9. Cálculo de lámina de riego

Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
ET _o	1.65	1.46	1.51	1.73
K _c	0.55	0.79	1.02	1.24
ET _c	0.91	1.16	1.54	2.14
pe	0.00	0.00	0.00	0.00
N. netas	0.91	1.16	1.54	2.14
E _{fa} (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
C _u (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
N. Totales	1.00	1.27	1.69	2.35

Nota: En la tabla se muestra la lámina aplicada al tratamiento T1 al 100% de la evapotranspiración del cultivo.

4.1.2.3 Cálculo de evapotranspiración real del cultivo ET_c

Método de lisímetro

Se obtuvieron valores de evapotranspiración para cada tratamiento mediante el balance hídrico de la lámina aplicada menos el drenaje para cada fase fenológica hasta el inicio de panojamiento (83 días después de la siembra) del periodo vegetativo de la quinua variedad Salcedo INIA.

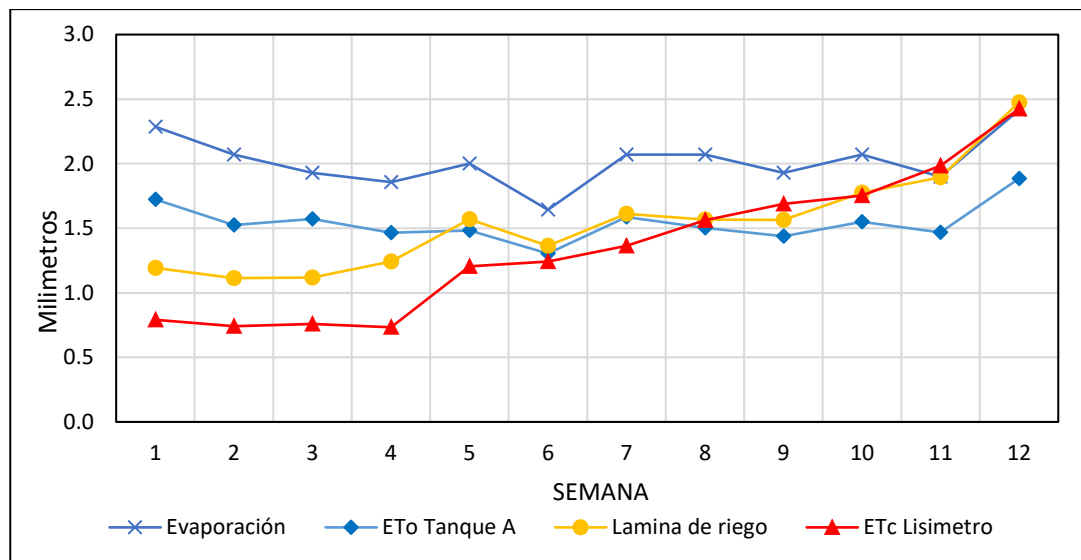


Figura 15. Evaporación promedio semanal del tanque evaporímetro tipo A y evapotranspiración promedio de la quinua.

Nota: La figura representa la evaporación promedio semanal del tanque evaporímetro tipo A, la evapotranspiración de referencia, la lámina de riego y la evapotranspiración de cultivo promedio semanal de la quinua.

Durante el ciclo vegetativo del cultivo, la evapotranspiración del cultivo tuvo un rango de 0.6 a 2.34 mm/día⁻¹.

Mujica et al. (2001) citando a Choquecallata et al. (1991) afirman que el método del lisímetro es más significativo que otros métodos. En el altiplano, la evapotranspiración máxima para el cultivo de quinua, también medida lisimétricamente, fue de 3,64 mm/día (promedio estacional), con un pico en la

floración y desarrollo del grano lechoso, con un acumulado de 134 días de 488 mm. Según la fórmula de Penman, la evapotranspiración potencial anual media es de 3,4 mm/día, lo que corresponde a 1241 mm/año resultando un coeficiente de cultivo (K_c) medio estacional de 0,87.

4.1.3 Balance hídrico

En la siguiente tabla se muestra la lámina aplicada para cada tratamiento, para el tratamiento T1 se aplicó un total de 150.9 mm, para el tratamiento T2 se aplicó un total de 127.3 mm, para el tratamiento T3 se aplicó un total de 103.7 mm y para el tratamiento T4 se aplicó un total de 80.2mm.

Las cantidades de agua aplicadas durante las etapas iniciales de desarrollo para T1 (100% ET_c), T2 (80% ET_c), T3 (60% ET_c) y T4(40% ET_c) son las mismas (33 mm) para garantizar la emergencia del cultivo. Para los tratamientos deficitarios se aplicaron riegos con la misma frecuencia que el tratamiento T1 (100% ET_c), pero con cantidades reducidas del 80%, 60% y 30% de la ET_c .

Tabla 10. Lámina de riego aplicada durante las fases fenológicas para los diferentes tratamientos.

Etapa fenológica	Días de duración	Intervalo de riego (días)	Lámina de riego aplicado (mm)			
			T-1 (100% ET_c)	T-2 (80% ET_c)	T-3 (60% ET_c)	T-4 (40% ET_c)
Inicial	28	1	33.0	33.0	33.0	33.0
Desarrollo	50	1	102.5	82.0	61.5	41.0
Inicio de panojamiento	5	1	15.38	12.30	9.23	6.15
Total	83	-	150.9	127.3	103.7	80.2

Nota: En la tabla se muestra la lámina de riego total aplicada por cada fase fenológica hasta el inicio de panojamiento del cultivo de quinua.

En la siguiente tabla 11 se muestra la evapotranspiración del cultivo obtenido mediante los lisímetros de drenaje, dando como resultado un total de

113mm para el tratamiento T1, 102.6mm para el tratamiento T2, 80.7mm para el tratamiento T3 y 69.2 para el tratamiento T4.

Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo de quinua para los diferentes tratamientos.

Etapa fenológica	Días de duración	Intervalo de riego (días)	Lamina consumida por el cultivo (mm)			
			T-1 (100%ETc)	T-2 (80%ETc)	T-3 (60%ETc)	T-4 (40%ETc)
Inicial	28	1	20.4	19.6	18.6	22.9
Desarrollo	50	1	80.4	71.1	52.8	40.2
Inicio de panojamiento	5	1	12.15	11.93	9.23	6.15
Total	83	-	113.0	102.6	80.7	69.2

Nota: la tabla muestra la lámina consumida por tratamiento en cada fase fenológica

En la tabla 12 el total de la lámina aplicada desde la semana 1 a la semana 12 fue de 150.86 mm y el volumen drenado fue de 37.89 mm, equivalente a un 25.1% del agua aplicada.

El coeficiente de cultivo se determinó con la relación entre la evapotranspiración del cultivo ETc y la evapotranspiración de referencia ETo.

Tabla 12. Valores de balance hídrico semanal

Semana	La (mm)	D (mm)	%D	ETc lis	ETo	
					A	Kc
1	8.4	2.7	32.0	5.68	12.1	0.47
2	7.8	2.5	31.6	5.33	10.7	0.50
3	7.8	2.5	32.1	5.31	11.0	0.48
4	9.0	3.2	35.6	5.82	10.3	0.57
5	13.7	5.6	40.7	8.15	10.4	0.78
6	11.93	3.2	27.2	8.69	9.1	0.95
7	14.11	4.1	29.1	10.00	11.1	0.90
8	13.71	2.7	19.8	10.99	10.5	1.04
9	13.68	1.7	12.5	11.98	10.1	1.19
10	15.54	3.3	21.0	12.28	10.8	1.13
11	16.57	2.3	13.8	14.29	10.3	1.39
12	18.56	4.1	22.1	14.45	11.3	1.28
Total	150.86	37.89	25.1	113.0	127.6	

Nota: En la tabla se muestra los valores de balance hídrico semanal

4.1.4 Potencial matricial del suelo

El potencial mátrico del suelo (Ψ_m) se midió desde el día 12 al 83 después de la siembra registrándose un rango de valores mínimos y máximos que van de -8 a -23 cbar en el T1 ETc100%, de -10 a -30 cbar para el T2 ETc80%, -8 a -36 cbar para T3 ETc 60% y -10 a -40 cbar para T4 ETc40%. Así mismo se mantuvo a capacidad de campo el tratamiento T1 durante el periodo vegetativo.

Según Villablanca et al. (2015) la interpretación en centibares (cbar) es la siguiente:

- 0 a -10 cbar: Indican suelo con agua libre llegando a cero o saturado.
- -10 a -20 cbar: Humedad a disposición de la planta con un esfuerzo mínimo.
- -30 a -60 cbar: Rango de inicio de riego de acuerdo a la textura predominante del suelo.
- -70 cbar o superiores: La planta está padeciendo estrés y se acerca al punto de marchitamiento.

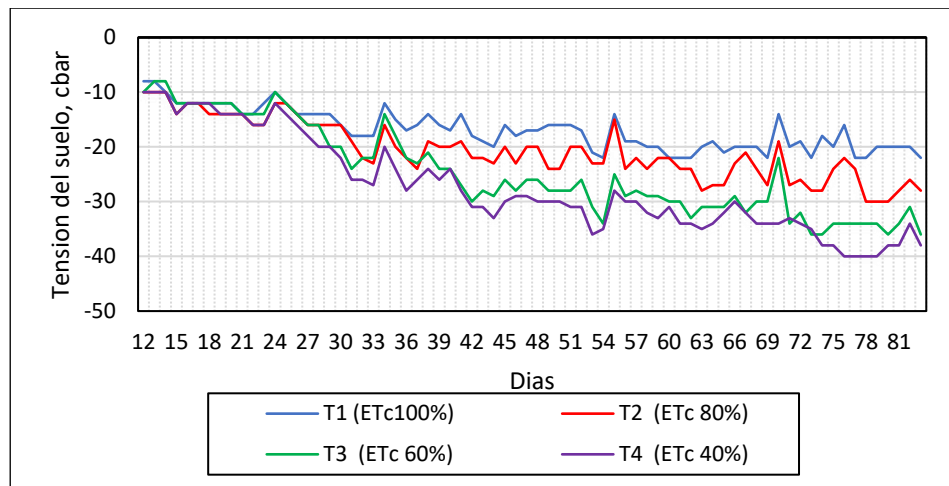


Figura 16. Comportamiento diario del potencial matrico para cada tratamiento.

Nota: En la figura se muestra la tensión del suelo registrado diariamente por cada tratamiento.

4.2 EFECTO DE LAS LÁMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE HOJAS

En cuanto a la producción de hojas por tratamiento se obtuvo un rendimiento promedio por tratamiento como resultado de la evaluación de cuatro láminas de riego por goteo en el cultivo de quinua, el cual se muestra en la tabla 13. Asimismo, se evidencia que se obtuvo mayor rendimiento en el tratamiento T2 de 1.35 kg/m², con una lámina de riego aplicada de 80% ETc, posteriormente el T3 (60%ETc) obtuvo un rendimiento de 1.2 kg/m², así como 1.02 y 1.0 Kg/m² para los tratamientos T1 (100%ETc) y T4 (40%ETc). Los registros de producción de hojas por tratamiento se muestran en el anexo 4.

Tabla 13. Cálculo del rendimiento en producción de hojas por lisímetro.

Tratamiento	Rendimiento por Lisímetro (Kg/m ²)			Promedio (Kg/m ²)
	L-1	L-2	L-3	
T-1	1.00	1.06	1.01	1.02
T-2	1.30	1.38	1.37	1.35
T-3	1.13	1.09	1.14	1.12
T-4	0.97	1.00	1.03	1.00

Nota: En la tabla se muestra los rendimientos en producción de hojas por lisímetro de los tratamientos T-1, T-2, T-3 y T-4.

En la figura 17 se muestra los rendimientos en producción de hoja promedio por tratamiento.

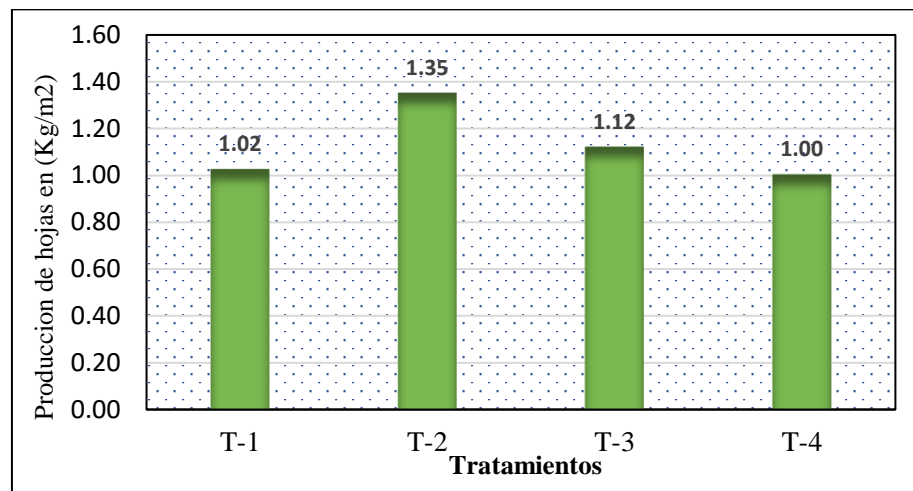


Figura 17. Rendimiento en producción de hojas de la quinua de los diferentes tratamientos.

Nota: En la figura se grafica los rendimientos promedio en producción de hojas por tratamiento.

En la tabla 14, se muestran los diferentes resultados obtenidos del análisis de varianza al 5% de significancia para el rendimiento en producción de hojas por tratamiento, donde muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Tabla 14. ANOVA de producción de hojas para los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	F	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	0.224	0.075	64.4	4.066	0.00
Error	8	0.009	0.001			
Total	11	0.233				

En el análisis anterior, se puede observar que los diferentes resultados obtenidos del análisis de varianza para el componente de rendimiento evaluado (rendimiento en producción de hojas), presentó diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

La prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística confirma que, si existen diferencias entre los tratamientos en cuanto al rendimiento de producción de hojas, tal como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. HSD Tukey de la producción de hojas por tratamiento

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05		
	1	2	3
T-4(40%ETc)	1.008		
T-1(100%ETc)	1.023		
T-3(60%ETc)		1.12	
T-2(80%ETc)			1.35
Sig.	0.94	1.00	1.00

Por consiguiente, mediante la prueba post hoc de Tukey se tiene que efectivamente existen diferencias significativas entre los rendimientos en producción de hojas de los cuatro tratamientos. El tratamiento T2 presento mayor rendimiento, que el tratamiento T3 este a su vez del tratamiento T1 y T4, tal como se observa en la tabla 15.

Asimismo, los valores de rendimiento obtenidos en el tratamiento T1, T2, T3 y T4 de 1.023, 1.35, 1.12 y 1.0 kg/m² respectivamente son menores al rendimiento en hojas obtenido por Pathan et al. (2023) el cual obtuvo rendimientos de 2.913, 2.407 y 2.315 kg/m² de las variedades de Ames, PI 614885 y PI 665275, y se regó según fuera necesario. Esta diferencia correspondería principalmente a la densidad de siembra establecido ya que Stuleru et al. (2022) reportaron en su investigación que la mayor producción de hojas de quinua se obtuvo a una densidad de siembra de 760 plantas/m² y cosechada a los 62 días después de la siembra de la variedad de Titicaca.

Por otro lado, Samad et al. (2018) obtuvieron rendimientos en plantas jóvenes de quinua (45 días después de la siembra) de dos variedades de quinua y una de espinaca, siendo la variedad CICA quien tuvo mayor rendimiento para todos los caracteres de crecimiento vegetativo y rendimiento en producción de hojas de 4.15 y 3.65kg/m² en



comparación con las plantas de la variedad Hualhuas (2.14 y 2.05kg/m²) y espinaca (2.20 y 2.15kg/m²) en dos temporadas 2014 y 2015.

Por su parte, Gámez (2018) menciona que el impacto del déficit hídrico en el rendimiento de las plantas de quinua depende del material genético cultivado, la duración del estrés y la fase fenológica en el que ocurre el estrés. Por este motivo, en el estudio elaborado por Telahigue et al. (2017) en cinco variedades de quinua provenientes de Chile y Dinamarca mostraron que una reducción del 40 % en la aplicación de agua en comparación con el control resultó en una reducción del rendimiento de solo el 27 %. Además, la reducción de materia seca de las plantas de quinua estresadas varía entre 30% y 73%, un rango que probablemente se deba al gradiente de rusticidad dependiente del material genético de los cultivares de quinua.

En cuanto al rendimiento en grano, el estudio realizado por Gámez (2018) manifestó que el déficit hídrico no tuvo un efecto significativo en los parámetros de rendimiento de las dos variedades de quinua evaluadas.

Por su parte López (2019) manifiesta que estudios de riego deficitario han mostrado que reduciendo el agua hasta un 50% del bien regado no tiene efecto sobre el rendimiento de la quínoa.

4.3 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LAMINAS DE RIEGO EN LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)

Para producir una unidad de masa, los invernaderos de alta tecnología pueden usar hasta 75 veces menos agua que los campos abiertos de baja tecnología. (Salazar et al., 2013). Así mismo, los cultivos de invernadero requieren menos agua que los cultivos de campo abierto. En áreas con alta radiación solar, los invernaderos pueden reducir el consumo de agua de los cultivos en un 30% (FAO, 1991). Sin embargo, en Almería,

España, el consumo de agua se reduce en un 40-50% debido a la reducción de la radiación solar y del viento (Fernández & Camacho, 2005).

Diversos trabajos han mostrado que la evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a la del aire libre, y la eficiencia en el uso del agua aumenta un 50%. (Anton et al., 2002)

Tabla 16. Cálculo de EUA por lisímetro en (Kg/m³).

Tratamiento	Lisímetro	Rend (Kg/m ²)	Rend (Kg/ha)	Agua Utilizada (m ³ /ha)	Eficiencia de uso de agua (Kg/m ³)	
					Por lisímetro	Promedio
T-1	L-1	1.00	10023.9	376.6	26.6	27.2
	L-2	1.06	10580.7	376.6	28.1	
	L-3	1.01	10103.4	376.6	26.8	
T-2	L-1	1.30	13046.9	342.0	38.2	39.5
	L-2	1.38	13762.9	342.0	40.2	
	L-3	1.37	13683.4	342.0	40.0	
T-3	L-1	1.13	11296.7	269.1	42.0	41.6
	L-2	1.09	10899.0	269.1	40.5	
	L-3	1.14	11376.3	269.1	42.3	
T-4	L-1	0.97	9705.6	230.8	42.1	43.4
	L-2	1.00	10023.9	230.8	43.4	
	L-3	1.03	10342.1	230.8	44.8	

Nota: En la tabla se observa el tratamiento más eficiente en el uso del agua en condiciones de déficit hídrico.

Para el análisis de varianza de EUA obtenido de cada tratamiento estudiado en comparación con diferentes láminas de riego. En la Tabla 17 podemos ver que la F calculada supera a la F tabulada para el nivel de probabilidad 5%, con alta significación estadística entre ellas. Esto sugiere que existen grandes diferencias en la eficiencia del uso del agua debido a los efectos de los tratamientos estudiados.

Tabla 17. ANOVA de la eficiencia de uso de agua.

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	485.90	162.0	139.9	4.066	0.000
Error	8	9.26	1.2			
Total	11	495.16				

Del análisis anterior, se puede confirmar que efectivamente los diferentes resultados obtenidos del análisis de varianza para el componente de eficiencia de uso de agua presentaron diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

Mendez (2008) en su investigación encontró que los valores más altos de eficiencia en el uso del agua de riego total para grano y materia seca se registraron para el estrés hídrico T60%ETc, esto se debe a que la reducción del rendimiento es del orden del 24% y la economía del agua es del 40% para el riego completo (T100% ETc), hemos registrado la menor eficiencia en el uso del agua de riego debido a las cantidades de agua aplicadas al cultivo. El estrés T30%ETc que se acompaña de una caída pronunciada en el rendimiento tiene los promedios totales de EUA más bajos. Estos resultados muestran que los requerimientos de agua de riego de la quinua se pueden reducir sin una reducción significativa en el rendimiento mediante la adopción de riego deficitario.

Tabla 18. HSD Tukey de la eficiencia de uso de agua por tratamientos

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05		
	1	2	3
T-1(100%ETc)	27.17		
T-2(80%ETc)		39.47	
T-3(60%ETc)		41.60	41.60
T-4(40%ETc)			43.43
Sig.	1.000	0.15	0.236

Según el análisis de post hoc de Tukey respecto a la EUA se evidencia tres resultados bien marcados siendo el grupo 1 conformado por el tratamiento T-1 a la cual



se le aplicó la lámina de riego del 100%ETc le mantuvo a capacidad de campo de la cual se obtuvo menor eficiencia de uso de agua, obteniéndose una eficiencia de uso de agua de 27.17 kg/m³. Por otro lado, se tiene el grupo 2 conformado por los tratamientos T-2 y T-3, obteniéndose una eficiencia de uso de agua 39.43 y 41.53 Kg/m³ a las cuales se aplicaron láminas de riego del 80%ETc, 60%ETc y en el grupo 3 tenemos al tratamiento T-4 con una eficiencia de uso de agua de 43.37 kg/m³ con una lámina del 40%ETc.

El resultado en cuanto a la eficiencia de uso de agua muestra que el tratamiento T1 (100 % ETc) es la menos eficiente en uso de agua concordando con Telahigue et al. (2017) quienes encontraron para el riego completo (T 100%ETc), registraron menor eficiencia en el uso del agua de riego debido a las cantidades de agua aplicadas al cultivo.

Los resultados concuerdan con otras investigaciones que afirman que la quinua posee un gran uso eficiente del agua (EUA). Este punto revela que el suplemento hídrico en quinua puede ser reducido sin una pérdida significativa de los rendimientos (Telahigue et al., 2017).

4.4 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE RIEGO EN LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE LA QUINUA

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros de crecimiento tomadas en cuenta para el presente estudio. Los registros se muestran en el anexo 5.

4.4.1 Parámetro de altura de planta

El seguimiento de la curva de crecimiento de la planta se realizó desde el día 28 DDS del periodo vegetativo, con la finalidad de evidenciar cambios de crecimiento en el tiempo inducidos por los tratamientos aplicados.

En la figura 18 se muestra la altura de la planta promedio por tratamiento hasta los 83 días después de la siembra, la altura de planta para T1 es igual a 44.3cm, T2 es igual a 56.8 cm, T3 es igual a 51.8 cm y T4 es igual a 46.3 cm.

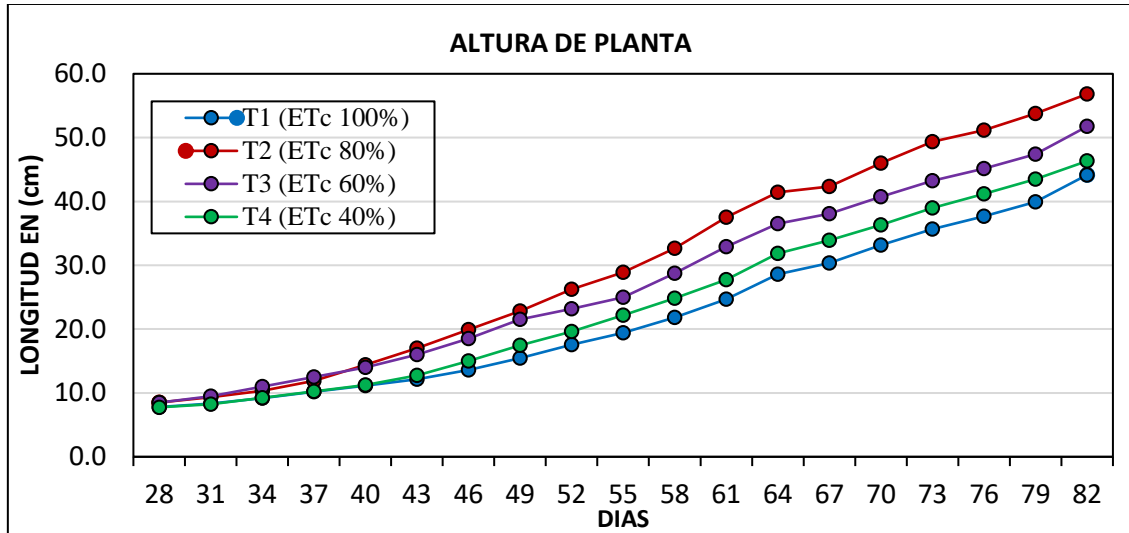


Figura 18. Curva de crecimiento de la quinua hasta el inicio de panojamiento.

Nota: En la figura se grafica la curva de crecimiento de la quinua de los diferentes tratamientos registrados en un intervalo de 3 días, desde el día 28 después de la siembra hasta el día 83 después de la siembra.

Condori (2008) en su investigación, en campo abierto encontró que la altura de la quinua a los 82 días después de la siembra en los tratamientos que aplico T1 sin riego deficitario ni aplicación de fertilización, T2 sin riego con fertilización orgánica, T3 con riego deficitario sin aplicación de fertilización orgánica, y T4 con riego deficitario y con aplicación de fertilización orgánica, obtuvo alturas de planta para T1 con 52.4cm, T2 con 47.1cm, T3 con 57.2cm y T4 con 55.5cm respectivamente.

Así mismo, Alvarez et al. (2022) en su estudio a los 55 días realizo la medición de la altura de la planta de las variedades Pandella, Kellu, Blanca de Juli, Salcedo INIA, Negra Collana y Blanca Real encontrando valores de 36cm, 41cm, 37cm, 30cm, 35cm y 20cm respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza para las características agronómicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Análisis de Varianza ANOVA de la altura de la quinua

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	291.256	97.085	7.673	4.066	0.010
Error	8	101.227	12.653			
Total	11	392.483				

Los resultados de la tabla 19 muestran una diferencia significativa al 5% de probabilidad entre los tratamientos observados respecto a la altura de planta.

La prueba de post hoc de Tukey al 5% de probabilidad estadística para la altura de la planta respecto a los tratamientos se muestra en la siguiente tabla 20.

Tabla 20. HSD Tukey de parámetro de altura de planta (cm) por efecto de la aplicación de las láminas de riego.

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05	
	1	2
T-1(100%ETc)	44.167	
T-2(80%ETc)	46.330	
T-3(60%ETc)	51.767	51.767
T-4(40%ETc)		56.833
Sig.	0.114	0.363

En base a los resultados obtenidos por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad muestra que si existe diferencias entre el tratamiento T2 y el resto de tratamientos ya que el tratamiento T-2 (80%ETc) alcanzó mayor altura de planta. Esto indica que la variedad Salcedo INIA se desarrolla de una manera óptima con una lámina del 80% ETc; sin embargo, se puede apreciar que con las láminas del 60%ETc y 40%ETc disminuye la altura de la planta, este aspecto concuerda con la investigación realizada por Chirinos (2017) quien manifiesta que las diferencias en las dosis de riego afectan directamente el rendimiento, la altura de la planta, el



diámetro del tallo, el peso de la biomasa y la longitud de la panoja, pero en diferentes proporciones. Esto se debe principalmente a que a mayor evapotranspiración de las plantas se produce más biomasa, lo que se traduce en una mayor producción y un mayor desarrollo de los parámetros antes mencionados. Sin embargo, en condiciones de invernadero se encontró que la lámina de riego tiene un efecto directo desde el tratamiento T4 (40%ETc), T3 (60%ETc) hasta el tratamiento T2 (80%ETc), quedando exento el tratamiento T1 (100%ETc).

Por su parte Minchola (2020) en su investigación encontró que el promedio en altura de los genotipos con riego completo y estrés hídrico son 151.75 y 155.44 cm, por consecuente manifiesta que no hay diferencias estadísticas entre estos valores. Lo cual indica que la quinua puede desarrollarse de manera similar o ligeramente superior entre el estrés hídrico y un riego completo.

Por otro lado, Mujica et al. (2001) manifiesta que la altura del cultivo de quinua es variable desde 30 a 300 cm, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece, de la fertilidad de los suelos; las de valle tienen mayor altura que las que crecen por encima de los 4000 msnm y de zonas frías, en zonas abrigadas y fértiles las plantas alcanzan mayor altura, su coloración varía con los genotipos y fases fenológicas, está clasificada como planta C3. Esto teniendo en cuenta todo el ciclo vegetativo de la quinua, en este estudio se está evaluando hasta la fase fenológica de inicio de panojamiento.

4.4.2 Parámetros de Diámetro de Tallo

En la siguiente figura se aprecia el crecimiento del tallo del cultivo de quinua en condiciones de invernadero.

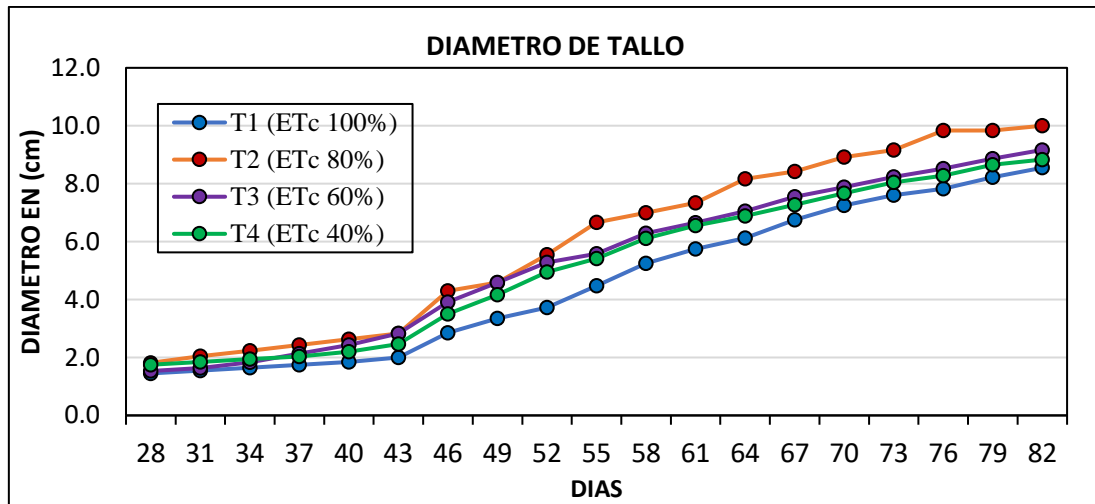


Figura 19. Desarrollo del diámetro de tallo de la quinua.

Nota: en la figura se muestra el desarrollo del tallo registrado desde el día 28 después de la siembra hasta el día 83 después de la siembra.

Los diámetros de tallo obtenidos a los 83 días después de la siembra para los tratamientos T1 (ETc100), T2 (ETc80), T3 (ETc60) y T4 (ETc40) son de 8.41mm, 10mm, 9.2mm y 8.8mm para el respectivamente, hasta la etapa de inicio de panojamiento; Así mismo, Mujica et al. (2001) afirma que el diámetro del tallo es variable con los genotipos, distanciamiento de siembra, fertilización, condiciones de cultivo, variando de 1 a 8 cm de diámetro.

Tabla 21. ANOVA del diámetro de tallo de T-1, T-2, T-3 y T-4

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	3.600	1.20	0.92	4.066	0.47
Error	8	10.465	1.31			
Total	11	14.072				

Los resultados obtenidos para esta variable indican que, estadísticamente los diámetros de tallo de las plantas de los diferentes tratamientos se mostraron similares en el análisis de varianza, sin diferencias significativas entre tratamientos, es decir no mostró ningún cambio significativo para el parámetro de diámetro de tallo.

4.4.3 Parámetro de número de hojas

En cuanto al número de hojas promedio por tratamiento se obtuvo un promedio 18.7 hojas para el tratamiento T1; 19.7 para el tratamiento T2; 20.3 para el tratamiento T3 y 19.5 para el tratamiento T4.

Deza et al. (2015) encontró que el número de hojas de la estevia por planta estuvieron entre 80 y 110 sin diferencias significativas entre tratamientos. El mayor coeficiente multiplicador obtuvo el mayor número de hojas por planta.

Por otro lado Alvarez et al. (2022) en su estudio a campo abierto a los 55 días del periodo vegetativo realizó la medición del número de hojas de las variedades Pandella, Kellu, Blanca de Juli, Salcedo INIA, Negra Collana y Blanca Real encontrando valores de 38; 24; 30; 34; 22 y 42 respectivamente.

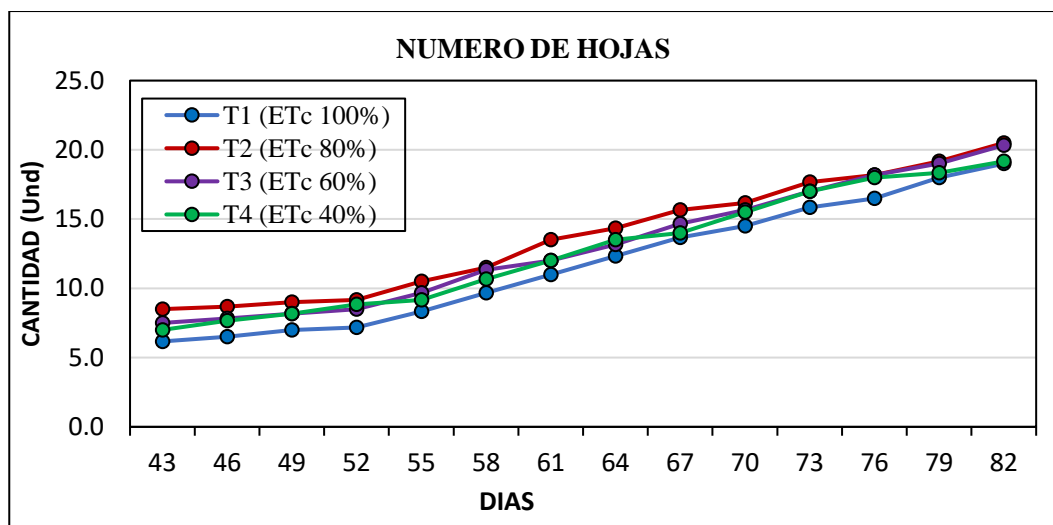


Figura 20. Numero de hojas por tratamiento T-1, T-2, T-3 y T-4.

Nota: Cantidad de hojas registrada desde el día 43 después de la siembra has el día 83 después de la siembra

Así mismo, los resultados obtenidos del número de hojas son superiores a los obtenidos por (Stuleru et al., 2022) quienes obtuvieron un promedio 14.29 y 16.83 hojas por planta cosechados en 52 y 62 días respectivamente.

En cuanto al ANOVA al 5% de probabilidad estadística, con respecto al número de hojas por tratamiento se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. ANOVA de número de hojas por tratamiento.

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	3.729	1.24	0.45	4.066	0.72
Error	8	22.000	2.75			
Total	11	25.729				

Los resultados obtenidos en la tabla 22, para el parámetro de numero de hojas indican, que estadísticamente las láminas de riego aplicadas presentaron resultados similares por lo que, en el análisis de varianza, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, es decir que aun aplicando diferentes láminas de riego las diferencias reales para el parámetro no registraron cambios significativos.

4.4.4 Parámetro de longitud y ancho de hojas

En la figura 21 se muestra la longitud y ancho de hojas registrado desde el día 43 después de la siembra.

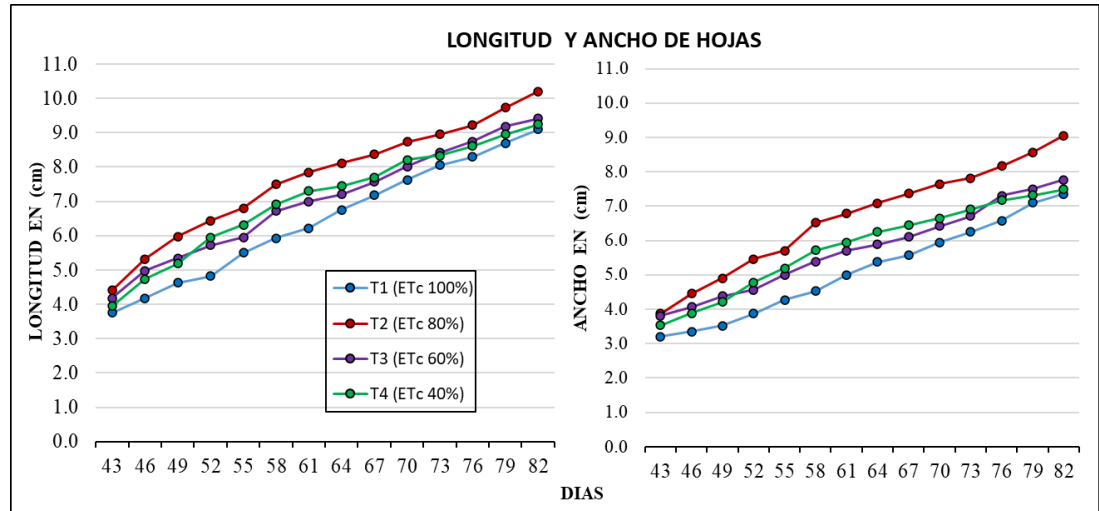


Figura 21. Curva de crecimiento de las hojas de quinua.

Nota: En la figura se muestra la curva de crecimiento promedio de la hoja de quinua.

Los resultados obtenidos en cuanto a la longitud y ancho de hoja para el tratamiento T1 se obtuvo una longitud y ancho promedio de 9.1 y 7.4cm, para el tratamiento T2 se obtuvo una longitud y ancho promedio de 10.2 y 9.1cm, para el tratamiento T3 se obtuvo una longitud y ancho promedio de 9.4 y 7.8cm, así mismo, para el tratamiento T4 se obtuvo una longitud y ancho promedio de 9.3 y 7.5cm.

Tabla 23. ANOVA de la longitud de hoja por tratamiento.

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	2.49	0.83	0.74	4.066	0.56
Error	8	9.03	1.129			
Total	11	11.52				

Tabla 24. ANOVA del ancho de hoja por tratamiento

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	6.28	2.095	2.46	4.066	0.14
Error	8	6.82	0.852			
Total	11	13.10				

En el parámetro de longitud y ancho de las hojas no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, que estadísticamente las láminas aplicadas presentaron iguales resultados en el análisis de varianza, es decir que aun aplicando diferentes láminas de riego las diferencias reales para el parámetro de longitud y ancho de hoja (expresado en centímetros) no registraron cambios significativos, no obstante, en el tratamiento T-2 obtuvo valores sobresalientes de longitudes y ancho de hoja.

Apaza et al. (2013) señalan que la variedad de Salcedo INIA tiene una longitud máxima de hojas de 7,40 a 9,40 cm y un ancho de hojas máximo de 5,90 a 7,70 cm; sin embargo, en el T-2 (80% ETc) se obtuvo una longitud promedio de 10cm siendo el valor más alto a comparación de los demás tratamientos, esto en condiciones de invernadero.

Por otro lado, Alvarez et al., (2022) en su estudio a los 55 días del periodo vegetativo realizó la medición del largo de hojas de las variedades Pandella, Kellu, Blanca de Juli, Salcedo INIA, Negra Collana y Blanca Real encontró valores de 4.9cm, 3.4cm, 3.5cm, 3.0cm, 3.5cm y 6.5cm respectivamente.

Asimismo, Alvarez et al., (2022) realizó la medición del ancho de hojas de las variedades Pandella, Kellu, Blanca de Juli, Salcedo INIA, Negra Collana y Blanca Real encontrando valores de 4.0cm, 3.2cm, 3.0cm, 3.2cm, 3.0cm y 5.7cm respectivamente.

4.4.5 Producción de biomasa

En la figura 22 se muestra la producción de biomasa promedio por tratamiento.

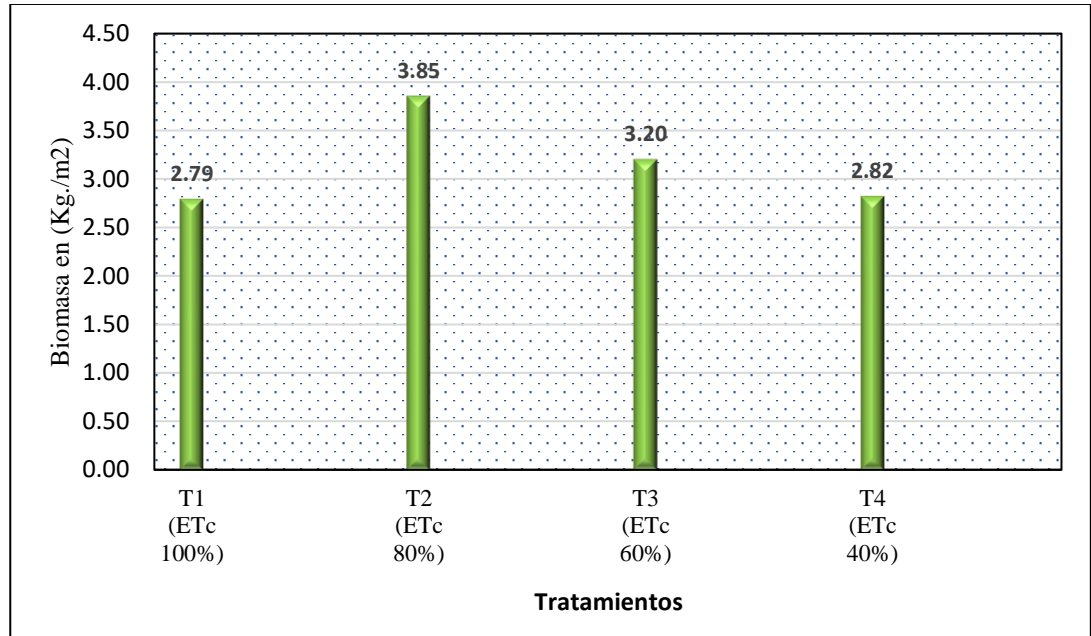


Figura 22. Producción de biomasa por tratamiento

Nota: En la figura se evidencia la producción promedio de la biomasa por tratamiento.

En la figura 22 se puede observar que el tratamiento T2 tuvo mayor producción comparado con los tratamientos T1, T3 y T4, lo que implicaría que la quinua bajo invernadero tiene un desarrollo óptimo con una lámina del 80%ETc.

Tabla 25. ANOVA de producción de biomasa de los diferentes tratamientos

Fuente de variabilidad	GL	Suma de Cuadrados	Media cuadrática	FC	FT 0.05	Sig.
Tratamiento	3	2.211	0.74	28.11	4.066	0.000
Error	8	0.210	0.03			
Total	11	2.421				

Los resultados obtenidos para esta variable en el cuadro 25, demuestran que estadísticamente las láminas aplicadas presentaron diferencias en el análisis

de varianza, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos.

En la tabla 26, las comparaciones medias de Tukey al 5% de probabilidad estadística, indudablemente se encontraron diferencias significativas en cuanto a la producción de biomasa.

Tabla 26. Prueba de Tukey en la producción de biomasa por tratamiento

Tratamiento	Subconjunto para alfa = 0.05	
	1	2
T-1(100%ETc)	2.79	
T-4(40%ETc)	2.82	
T-3(60%ETc)	3.20	
T-2(80%ETc)		3.86
Sig.	0.06	1.00

En la tabla 26 mediante la prueba de post hoc de Tukey se evidencia que el tratamiento T2 (80%ETc) obtuvo un rendimiento en producción de biomasa de 3.86 kg/m², superior a los demás tratamientos en las que se obtuvo 2.79, 3.20 y 2.82 kg/m² para los tratamientos T1 (100%ETc), T3 (60%ETc) y T4 (40%ETc) respectivamente.

Por otro lado, Minchola (2020) en su investigación en la que aplicó 2 tratamientos (control-riego completo y estrés hídrico) concluyó que no hubo diferencias significativas en la producción de biomasa de ambos tratamientos, en general, presentan valores similares, lo que aparentemente mostraría la tolerancia de la quinua al estrés hídrico en los cuatro genotipos estudiados.



V. CONCLUSIONES

- La aplicación de láminas de riego T1(al 100%ETc), T2(al 80% ETc), T3(al 60% ETc) y T4(al 40% ETc) tiene un efecto directo sobre la producción de hojas en invernadero en los tratamientos T2(al 80% ETc), T3(al 60% ETc) y T4(al 40% ETc), los cuales tuvieron una producción de hojas de 1.35Kg/m², 1.20 Kg/m² y 1.02 Kg/m² respectivamente; sin embargo, el aplicar una lámina de 100% ETc se evidencia un efecto de disminución en la producción de hojas con un rendimiento de 1.0 Kg/m² del cultivo de quinua de la variedad Salcedo INIA bajo invernadero. Siendo el tratamiento T2 el que tuvo mayor rendimiento en cuanto a producción de hojas.
- La aplicación de láminas de riego T1(al 100%ETc), T2(al 80% ETc), T3(al 60% ETc) y T4(al 40% ETc) tiene un efecto inversamente proporcional en la eficiencia de uso de agua ya que se encontró que la aplicación de láminas mayores al tratamiento T4(40%ETc) resultaron menos eficientes, por consiguiente, el T1 (100%ETc) fue menos eficiente con un valor de 72 Kg/m³ y los tratamientos T2, T3, T4 los más eficientes, los cuales presentaron valores de eficiencia de 104.6, 110.2 y 115.1 Kg/m³ respectivamente. Resultando el tratamiento T4 la más eficiente.
- La aplicación de láminas de riego T1(al 100%ETc), T2(al 80% ETc), T3(al 60% ETc) tiene un efecto directo sobre los parámetros de crecimiento como: la altura de planta, diámetro de tallo, numero de hojas, producción de biomasa, longitud y ancho de hoja de los tratamientos T2, T3 y T4; sin embargo, el aplicar una lámina del T1 se evidencia un efecto de disminución del desarrollo en los parámetros de crecimiento del cultivo de quinua de la variedad Salcedo INIA bajo invernadero.
- En cuanto a la evapotranspiración de cultivo ETc se obtuvo un consumo de 113.1mm para el tratamiento T1 (100%ETc), 102.7mm para el tratamiento T2 (80%ETc), 80.8



para el tratamiento T3 (60%ETc) y 69.3mm para el tratamiento T4 (40%ETc), estos valores se obtuvieron a partir del balance hídrico con el lisímetro de drenaje.

- En síntesis, el tratamiento T2 obtuvo mayor producción de hojas y mayor desarrollo en los parámetros de crecimiento y significo un ahorro de agua del 9.2 % respecto al tratamiento T1.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con estudios sobre cultivo de hojas de quinua en condiciones de invernadero para afianzar los conocimientos teóricos con otras variedades de quinua.
- Se recomienda hacer uso de invernaderos con mayores áreas cultivables para asegurar muestras más significativas.
- Se recomienda realizar investigaciones similares aplicando diferentes láminas de riego mayores densidades de siembra, y nuevas variedades de quinua para fines de producción de hojas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguadelo, L., & Aignerren, J. (2008). *Repositorio Institucional Universidad de Antioquia*.
Obtenido de Diseños de investigación experimental y no-experimental:
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/2622>
- Alba, A. (22 de Octubre de 2018). *Redagrícola*. Obtenido de Manejo del riego en invernaderos: <https://www.redagricola.com/pe/manejo-del-riego-en-invernaderos/>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: Serie Riego y Drenaje FAO.
- Alvarado , P. (Mayo de 2003). *Invernaderos Materiales, Tipos, Zonas aptas, Tendencias e Innovaciones*. Santiago: Universidad de Chile.
- Alvarez , I., Soria , J., & Soria, A. (1 de febrero de 2022). *Experiencias de producción de quinua (Chenopodium Quinoa Willd) con técnicas de alm/acigo y trasplante para consumo de hoja en Chepes La Rioja- Argentina*. Obtenido de Proyecto Quinua Verde- Hojas y Panojas de quinua:
<https://web.facebook.com/quinuaverde/videos/994529904776666>
- Alves, P., Vieira , J., Alves, D., Nascimento, S., & Fraga, E. (14 de Diciembre de 2015). *Irriga*. Obtenido de Consumo hídrico do manjeriçao por meio de lisímetro de drenagem: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1788>
- Anton, A., Montero, J., & Muñoz, P. (2002). *Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero. Comparación con el cultivo al aire libre*. Obtenido de Arcimis:
<http://hdl.handle.net/20.500.11765/9156>



- Apaza , V., Cáceres , G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de la quinua en el Peru*. Lima: Biblioteca Nacional.
- Arevalo, J. (2011). *Evaluación del efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en el cultivo de rosa (rosa sp) cv. Freedom, bajo invernadero en la sabana de Bogotá*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Bascope, A. (2013). *Cambio Climático*. Santiago: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa).
- Bazalar , M., Ochoa, S., & Alderete, N. (2013). *los haceres y saberes de la quinua*.
Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://des-
juj.infed.edu.ar/sitio/upload/Libro_de_Quinua_Ministerio_de_Educacion_Jujuy.p
df
- Calderon Farfan , L., & Van den Berg, A. B. (2004). *Manual de Riego por Aspersión en los Andes*. Cusco: IMA.
- Calla, J. (16 de octubre de 2012). *Agrobanco*. Obtenido de Manejo agronomico del cultivo de la quinua: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-b-quinua.pdf>
- Calvache, M. (2012). *Riego Andino Tecnificado*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego Utilización racional del agua*. Madrid: Thomson Editores Spain.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del Riego Utilización Racional del Riego*. Madrid: Internacional Thomson Editores Spain.
- Castillo , D., León , L., Zuruta , A., Rodrigo, Q., & Vera, C. (2019). *Biblioteca digital Fia Chile*. Obtenido de MANEJO AGRONÓMICO QUINOA (Chenopodium



quinoa Willd.) :

https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148406/PYT-2017-0495_MA_11_Quinoa.pdf?sequence=9&isAllowed=y

Chirinos, T. (2017). *Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia del uso del agua de un ecotipo local de quinua (Chenopodium Quinoa Willd) en lisímetros de drenaje en la comunidad de Ccaje – Juli – Chucuito – Puno, Campaña 2015 – 2016*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Choquecallata, J., Vacher, J., Fellmann, T., & Imaña, E. (1992). *Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano Boliviano*. La Paz: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos.

Coletti, A., Dallacort, R., Araujo, J., Dalchiavon, F., & Santi, A. (2012). Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da cultura do pinhão manso. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 373-383.

Condori, o. (2008). *Evaluación participativa del riego deficitario y de fertilización orgánica sobre el desarrollo y rendimiento de quinua (Chenopodium quínoa Willd) en el altiplano sur*. La Paz: UMSA.

Daza, R., Pereyra, E., Burin, D., & Heras, A. (07 de Mayo de 2015). *Quinoa Regalo Ancestral. Historia, Contexto, Tecnología, Políticas*. Palpalá: Ediciones Nueva Gestion. Obtenido de Quinoa Regalo Ancestral. Historia, Contexto, Tecnología, Políticas.: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.academica.org/david.burin/34.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.academica.org/david.burin/34.pdf)



- Deza , M., Jurado, J., & Torres, V. (2015). Efecto de aplicación de diferentes láminas de riego en estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) bajo invernadero. *TEMAS AGRARIOS*, 81-90.
- Dias, R. (2013). *Estudio de caracterización climática de la precipitación pluvial y temperatura del aire para las cuencas de los ríos Coata e Ilave*. Puno: SENAMHI.
- Durán, J., Cutipa, D., Quispe, H., Amézaga, C., & Salcedo, A. (2016). *Guía de construcción y manejo de invernaderos para la producción de hortalizas y frutas en zonas alto andinas*. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Estrada, J. (Julio de 2012). *FAO*. Obtenido de Guía para la construcción de invernaderos o fitotoldos: <https://www.fao.org/3/as968s/as968s.pdf>
- FAO. (12 de abril de 2017). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura*. Obtenido de Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/#:~:text=Se%20espera%20que%20la%20escasez,como%20resultado%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico.&text=Sequ%C3%ADas%20severas%20m%C3%A1s%20frecuentes%20y,de%20agua%20de%20los%20cultivos>.
- Felmer , S. (29 de octubre de 2015). *Capítulo 5. El Riego de la quínoa*. Obtenido de INIA Chile: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/NR41421.pdf?sequence=10&isAllowed=y>



- Fernández, D., Orgaz, F., Fereres, E., Lopez, J., Céspedes, A., Pérez, J., . . . Gallardo, M. (2001). *Programacion de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste Español*. Barcelona: CAJA MAR.
- Fernandez, M., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J., Granados, M., . . . Fereres, E. (2010). Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 497–509.
- Fernández, P., Vallejo, G., Tuero, E., & Livacic, P. (Mayo de 2014). *Scielo*. Obtenido de Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282014000200039#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20cuasi%2Dexperimental%20es,\(ver%20Arnau%2C%201995\)](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282014000200039#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20cuasi%2Dexperimental%20es,(ver%20Arnau%2C%201995)).
- Fernandez, R., Avila , R., López, M., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Modulo 1: Fundamentos de Riego*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca.
- Fernández, R., Yruela, M., Mila, M., García, J., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado manual y ejercicios*. Andalucía: Junta de Andalucía.
- Flórez, V., Gonzales, C., Quintero, Q., & Quintero, M. (2017). *Researchgate*. Obtenido de [Lisímetros volumetricos: https://www.researchgate.net/publication/341273194_Lisímetros_volumetricos](https://www.researchgate.net/publication/341273194_Lisímetros_volumetricos)
- Fuentes, N. (11 de Noviembre de 2018). *Repositorio Digital de Recursos Hidricos*. Obtenido de Uso eficiente del agua en la agricultura con fines de conservación (Cartilla 3): <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3127>



- Fundacion PROINPA. (2011). *La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. La Paz: FAO.
- G.J, Á. (18 de Noviembre de 2019). *FERTIBOX AGRICOLAS*. Obtenido de Laboratorio Fertibox: <https://www.fertibox.net/single-post/agua-riego>
- Gallardo, M., Fernández, M., Thompson, R., & Magán, J. (2007). *Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa*. Obtenido de Estación Experimental de la Fundación Cajamar: <https://publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/productividad-del-agua-en-cultivos-bajo.pdf>
- Gámez, A. (2018). *Evaluación del rendimiento y caracterización fisiológica de dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) sometidas a déficit Hídrico bajo condiciones de invernadero*. Pamplona: Instituto de Agrobiotecnología.
- Gámez, A. (19 de setiembre de 2018). *Evaluación del rendimiento y caracterización fisiológica de dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) sometidas a déficit Hídrico bajo condiciones de invernadero*. Obtenido de Digital.CSIC: <https://digital.csic.es/handle/10261/192507>
- García, J. (2015). *Hacia el riego de precision en el cultivo de frasa en el entorno de Doñana*. Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Garcia, J., Huahuachampi, J., & Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (Chenopodium Quinoa Willd) en la Molina. *Anales Científicos*, 10.



- García, j., Navas, L., Benavente, R., Luna, L., & Muñoz, M. (1 de Junio de 1999).
Diferentes tipos de invernaderos. *El cultivo determina el tipo de invernadero y el equipo a escoger (calefaccion, materiales, etc.)*. España: Cultivos intensivos.
- Garcia, M., Raes, D., & Jacobsen, S.-E. (2002). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*, 119-134. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/223159378_Evapotranspiration_analysis_and_irrigation_requirements_of_quinoa_Chenopodium_quinoa_in_the_Bolivian_highlands
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la Quinoa*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, FAO.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinoa*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San Jose: IICA , serie de libros y materiales educativos.
- Hargreaves, G., & Samani, S. (Enero de 1985). *researchgate*. Obtenido de Reference Crop Evapotranspiration From Air Temperature: https://www.researchgate.net/publication/247373660_Reference_Crop_Evapotranspiration_From_Temperature
- Ibañez, C. F. (2016). *Determinación Del Coeficiente De Cultivo (Kc.), Para Maíz (Zea Mays L.) Bajo Invernadero En La Granja Santa Ines*. Machala: Universidad Tecnica De Machala.



INEI. (24 de Agosto de 2021). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de Plataforma digital única del estado: <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/534825-produccion-de-quinua-crecio-75-2-durante-junio-de-2021>

INEI. (13 de Mayo de 2021). *Instituto Nacional de Estadística e informática*. Obtenido de INEI: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-075-2022-inei_1.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (septiembre de 2021). *Marco Orientador de Cultivos*. Obtenido de MOC 2021: [https://gestionparticipativa.pe.iica.int/Procesos/MOC/resumen/cultivo-priorizado/Quinoa.aspx#:~:text=El%2083%2C5%25%20de%20la,Arequipa%20\(2%2C2%25\).](https://gestionparticipativa.pe.iica.int/Procesos/MOC/resumen/cultivo-priorizado/Quinoa.aspx#:~:text=El%2083%2C5%25%20de%20la,Arequipa%20(2%2C2%25).)

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (abril de 2021). *Marco Orientador de Cultivos*. Obtenido de MOC 2021: [https://gestionparticipativa.pe.iica.int/Procesos/MOC/resumen/cultivo-priorizado/Quinoa.aspx#:~:text=El%2083%2C5%25%20de%20la,Arequipa%20\(2%2C2%25\).](https://gestionparticipativa.pe.iica.int/Procesos/MOC/resumen/cultivo-priorizado/Quinoa.aspx#:~:text=El%2083%2C5%25%20de%20la,Arequipa%20(2%2C2%25).)

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2015). *Biblioteca Digital INIA*. Obtenido de Demanda hídrica bajo sistemas protegidos de la región de Arica y Parinacota: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/66810>

Jensen, M., & Allen, R. (20 de Abril de 2016). *ASCE Library*. Obtenido de Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784414057>



- Leiva, C., Schmidt, C., Gajardo, G., & Rodríguez, A. (2017). *Manual técnico productivo y económico para la producción de quínoa en la Región del Biobío, bajo condición actual y clima proyectado al 2030*. Obtenido de CIREN: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26798>
- Lenscak, M., & Iglesias, N. (2019). *Invernaderos Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)*. Buenos Aires: INTA Ediciones.
- Lenscak, M., & Iglesias, N. (2019). *Invernaderos Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional Argentino (del paralelo 23 al 54)*. Buenos Aires: INTA Ediciones.
- Leon, J. (2003). *Fases fenológicas sensibles al déficit hídrico en la quinua*. Oruro: Memorias del II Congreso Internacional de la Quinua.
- León, P., Zurita, A., & Veas, E. (2015). *Capítulo 1. Antecedentes generales de la quínoa*. Obtenido de INIA Chile: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/NR41417.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- León, P., Zurita, A., Veas, E., Alfaro, C., Matus, I., Ruf, K., . . . Quiroz, C. (2015). *El cultivo de la quínoa en Chile*. Rengo: INIA Chile.
- Linares, R. (2012). *UAL*. Obtenido de Necesidades Hídricas del Cultivo: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/872/Anejo%208.%20Necesidades%20hidricas%20del%20cultivo.pdf?sequence=10>
- Lobos, P., Vega, B., & Carrasco, J. (2022). *INIA CHILE*. Obtenido de Producción de hortalizas bajo invernadero: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68837>



- López, R. (2019). *Capítulo 8 MANEJO DEL AGUA DE RIEGO EN QUÍNOA*. Temuco: INIA Carillanca. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/3609>
- Malpartida, S. (2017). *Caracterización nutricional y compuestos bioactivos de las hojas de ocho variedades de quinua (Chenopodium quinoa W.)*. Huanuco: Universidad Nacional Hermilio Baldizán.
- Marcias, R. (2009). *Estimación de la evapotranspiración de cultivo y requerimientos hídricos del tomate (Solanum lycopersicum Mill, cv. El Cid) en invernadero*. Michoacan: Instituto politecnico Nacional .
- Marcias, R. (2009). *Estimación de la evapotranspiración del cultivo y requerimientos hídricos del tomate (solanum lycopersicus mill,cv.el cid) en invernadero*. Michoacan: Instituto Politecnico Nacional.
- Martínez , A. (2004). *Necesidades hídricas en los cultivos horticolas*. Obtenido de Laboratorio Asociado de Agronomía y Medioambiente: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_2004_177_34_41.pdf
- Martinez, J., Farlas, K., & Ruiz, R. (abril de 2020). *Importancia del control de variables ambientales en invernaderos para la producción de hortalizas*. Obtenido de INIA Chile: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67176/NR42416.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67176/NR42416.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez, R. (1991). *Riego Localizado: Diseño y Evaluación*. Mexico: Universidad Autonoma de Chapingo.



- Mendez, V. (2008). *Evaluación de genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en diferentes etapas de supresión de riego y niveles de humedad bajo Walipini*. La Paz: UNMSA.
- Mina, A. (2018). *Evaluación de las propiedades funcionales de concentrados proteicos de hojas de quinua (Chenopodium quinoa Willd) variedad INIAP–Tunkahuan obtenidos con dos procedimientos de extracción*. Quito: Universidad Central de Ecuador.
- MINAM. (7 de junio de 2017). *SINIA*. Obtenido de MINAM: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Minchola, K. (2020). *Respuesta de la quinua (Chenopodium quinoa Willd) al estrés hídrico en siembra de invierno bajo condiciones de La Molina*. Lima: UNALM.
- Miranda, R. (Jueves de Julio de 2008). *Todo sobre la quinua*. Obtenido de Resistencia a factores adversos de la quinua: <https://laquinua.blogspot.com/2008/07/resistencia-factores-adversos-de-la.html>
- Moratiel, R. (2017). *Riego en cultivos: fundamentos y manejo*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Mori, A. (2015). *"EFECTO DE CINCO LÁMINAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd), MEDIANTE EL RIEGO POR GOTEO"*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA .
- Morocho, J. (2019). *Respuesta del cultivo de beterraga (Beta vulgaris L.) a cinco laminas de riego por goteo en el valle de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.



- Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. En j. hernandez, j. Bermejo, & J. Leon, *Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942* (págs. 129-146). Roma: Organizacion de las naciones unidas para la agricultura y la alimentacion FAO.
- Mujica, Á., Izquierdo, J., Jacobsen, S., & Marathee, J. (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Will) cultivo ancestral andino, alimento del presente y futuro*. Santiago: Oficina Regional de Producción Vegetal.
- Núñez, A. (2015). *Manual de Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. Lima: MINAGRI.
- Ortiz , R. (20 de Febrero de 2012). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de El cambio climático y la producción agrícola: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Economia-Desarrollo/99.pdf
- Paredes, A. (10 de Junio de 2009). *Coperacion Colombiana de investigacion Agropecuaria*. Obtenido de Manual de Cultivo de Tomate en invernadero: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2196/43989_55756.pdf
- Pathan, S., Ndunguru, G., Islam, M., Jhumur , S., & Ayele, A. (2023). Production of Quinoa Leafy Greens in High Tunnel for Season Extension in Missouri. *horticulturae*, 9, 209. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020209>
- Perez, A. (2005). *Instituto Nacional de Inovacion Agraria INIA*. Obtenido de Manejo del cultivo de quinua en la sierra central: http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/744/2/Pérez-Manejo_cultivo_de_quinua.pdf



- Perez, C., Sánchez, M., Razuri, I., & Enciso, A. (2021). Dosis de riego y coeficiente del cultivo (Kc) en la producción del frijol. *Revista Ingeniería UC, Vol. 28, No 3*, 349-359.
- Pinto, M. (2019). *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*. Obtenido de MINISTERIO DE AGRICULTURA:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/NR41419.pdf?sequence=8>
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa.
- Rodríguez, R. (2018). *Manual Básico para la Producción de Hojas de Quinua Ecológica*. La Paz: FONDO DE INNOVACION- FUNDESNAP- FUNDACION VALLES.
- Romero, I. (junio de 2019). *Repositorio institucional MIDAGRI*. Obtenido de Requerimientos agroclimáticos del cultivo de quinua - ficha técnica N°10:
<https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/handle/20.500.13036/236?locale=en>
- Salazar, L., & Muñoz, G. (15 de julio de 2019). *Banco Interamericano de desarrollo*. Obtenido de Seguridad Alimentaria en América Latina y el Caribe:
[https://publications.iadb.org/es/seguridad-alimentaria-en-america-latina-y-el-caribe#:~:text=La%20seguridad%20alimentaria%20es%20la,saludable%20\(FAO%2C%202016\)](https://publications.iadb.org/es/seguridad-alimentaria-en-america-latina-y-el-caribe#:~:text=La%20seguridad%20alimentaria%20es%20la,saludable%20(FAO%2C%202016)).
- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (25 de 06 de 2013). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Chapingo, Mexico: Universidad Autónoma de Chapingo.



- Samad, E., Hussin, S., Naggar, A., Bordeny, N., & Eisa, S. (diciembre de 2018). The potential use of quinoa as a new non-traditional leafy vegetable crop. *Journal by Innovative Scientific Information & Services Network*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329758476_The_potential_use_of_quinoa_as_a_new_non-traditional_leafy_vegetable_crop
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1997). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Bogota: Panamericana Formas e Impresos S.A. .
- Sánchez, A. (2019). *Composición químico proximal, minerales y capacidad antioxidante de hojas de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa) en diferentes etapas fenológicas*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sancho, E. (27 de Enero de 2018). *Diario de Almeria*. Obtenido de España es el segundo país del mundo con más superficie de invernaderos.: https://www.diariodealmeria.es/agriculturadealmeria/Espana-segundo-mundo-superficie-BinvernaderosB_0_1213078728.html
- Sellés, G., Ferreyra, R., Apillaga, C., & Zuñiga, C. (2012). *Requerimiento de riego en uva de mesa: Experiencias en el Valle de Aconcagua*. Santiago: INIA Chile.
- Shock, C., & Welch, T. (Marzo de 2013). *Técnicas para la agricultura sostenible*. Obtenido de El riego por goteo: Una introducción: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8782-s.pdf>
- Soto, D., & del Castillo, L. (2010). *Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú*. Lima: ANA.



- Stuleru, V., Vitanescu, M., Telibán, G., Cojocar, A., Vlase, L., Gheldiu, A., . . . Raluca, O. (2022). Phytosterol and Polyphenol Contents and Quinoa Leave Yields Variation in Relationships to Variety, Density and Harvesting Date. *Agronomy*.
Obtenido de https://www.mdpi.com/2073-4395/12/10/2397/review_report
- Tapia, M. (2012). *La quinua Historia, distribucion geográfica actual producción y usos*. Puno: ambienta.
- Tarazona, N. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd), mediante el método del lisímetro*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez Monyolo.
- Telahigue, D., Ben, L., Fateh, A., & Belhoucett, K. (septiembre de 2017). *Grain Yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under drought stress*. Obtenido de Journal of Scientific Agriculture: <https://doi.org/10.25081/jsa>
- Treviño, E. (2004). *Estimación De La Evapotranspiración Real En Cultivos Hortícolas Bajo Condiciones De Invernadero* . Saltillo: CIQA.
- Ventura, M. (2018). *Análisis De La Evapotranspiración Para Chile Habanero (Capsicum Chinense Jacq) Bajo Condiciones De Invernadero*. . Mexico: Tecnológico Nacional De México.
- Villablanca, A., Cajías, E., & Allende, M. (Mayo de 2015). *INIA* . Obtenido de Ministerio de Agricultura Chile: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4575>
- Villacres , E., Silva, E., Cuadrado, L., Alvarez, J., & Quela, M. (2016). *La riqueza oculta de la hoja de quinua (Chenopodium Quenoa Willd)*. Santa Catalina: INIAP.



Villazón , J., Noris, P., & Vázquez, R. (2021). Balance hídrico del suelo como herramienta para la planificación de labores en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Scielo*, 6.



ANEXOS



Anexo 1. Temperatura y humedad relativa registrada dentro del invernadero.

FECHA	TEMPERATURA (°C)			HR (%)		EVAP
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	(mm)
20/04/2021	27.8	5.6	15.5	60	16	2
21/04/2021	31.9	5.0	16.4	57	14	2.5
22/04/2021	29.3	4.9	15.2	65	13	2.5
23/04/2021	25.1	7.3	14.5	49	22	2
24/04/2021	30.4	5.6	16.9	54	15	3
25/04/2021	28.9	4.5	16.0	40	16	2.5
26/04/2021	31.9	3.5	15.6	43	10	1.5
27/04/2021	24.0	4.3	13.4	63	19	1.5
28/04/2021	31.4	5.7	16.2	53	10	2
29/04/2021	31.8	4.6	15.6	50	13	2
30/04/2021	32.7	3.4	15.8	37	12	2.5
PROMEDIO	29.56	4.95	15.56	51.91	14.55	2.18
MAX	32.7	7.3	16.9	65.0	22.0	3.0
MIN	24.0	3.4	13.4	37.0	10.0	1.5



FECHA	TEMPERATURA (°C)			HR (%)		EVAP
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	(mm)
1/05/2021	22.7	2.3	12.2	32	16	2.5
2/05/2021	32.4	3.3	16.1	39	20	2.0
3/05/2021	36.2	4.0	17.6	38	10	2.0
4/05/2021	30.2	4.3	15.7	38	12	2.5
5/05/2021	36.3	5.0	17.7	66	10	2.5
6/05/2021	32.0	4.8	16.1	69	20	1.5
7/05/2021	32.5	6.8	16.8	70	21	1.5
8/05/2021	30.9	5.0	15.8	80	21	2.5
9/05/2021	30.3	3.6	15.1	80	17	1.5
10/05/2021	32.3	4.6	16.4	86	20	1.5
11/05/2021	33.2	4.7	17.0	80	11	1.5
12/05/2021	33.8	6.6	17.5	68	11	2.5
13/05/2021	31.7	6.1	16.3	54	16	2.0
14/05/2021	31.5	4.7	15.2	43	17	2.0
15/05/2021	26.2	4.7	14.2	76	27	1.5
16/05/2021	32.4	3.2	15.6	52	19	1.5
17/05/2021	32.3	3.8	15.7	40	11	2.0
18/05/2021	22.1	5.0	12.6	89	38	2.0
19/05/2021	26.7	2.4	13.4	36	10	1.5
20/05/2021	28.7	2.7	14.6	38	10	2.5
21/05/2021	30.9	4.7	15.6	31	10	2.5
22/05/2021	29.9	2.3	14.9	40	10	2.5
23/05/2021	30.1	2.3	13.7	36	12	1.5
24/05/2021	30.2	4.8	15.1	35	10	1.5
25/05/2021	29.1	3.1	13.8	59	11	1.5
26/05/2021	26.9	3.6	12.8	70	21	2.0
27/05/2021	21.4	6.2	12.7	78	32	1.5
28/05/2021	28.8	4.7	15.0	67	13	1.5
29/05/2021	32.8	3.9	16.1	53	12	2.0
30/05/2021	28.9	3.8	14.6	56	10	1.5
31/05/2021	25.0	5.8	13.4	48	17	1.5
PROMEDIO	29.95	4.28	15.14	56.35	15.97	1.89
MAX	36.30	6.80	17.73	89.00	38.00	2.50
MIN	21.40	2.30	12.20	31.00	10.00	1.50



FECHA	TEMPERATURA (°C)			HR (%)		EVAP (mm)
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	
1/06/2021	31.2	3.9	14.6	41	10	2
2/06/2021	29.8	1.5	13.2	44	10	2
3/06/2021	28.5	2.1	13.3	46	10	2.5
4/06/2021	32.7	4.9	15.7	40	11	2
5/06/2021	29.0	3.8	14.8	86	10	2
6/06/2021	31.6	2.9	14.4	35	10	2
7/06/2021	32.0	4.2	15.1	35	10	2
8/06/2021	23.4	1.5	11.3	35	12	2
9/06/2021	21.4	3.3	11.9	30	10	3
10/06/2021	24.9	2.5	11.8	25	10	1.5
11/06/2021	27.3	2.4	12.6	42	10	1.5
12/06/2021	21.5	1.1	10.4	35	16	2.5
13/06/2021	27.9	1.3	12.7	47	10	2
14/06/2021	30.3	1.7	13.3	45	14	2
15/06/2021	30.5	4.0	14.4	52	36	2
16/06/2021	28.2	5.3	14.3	41	10	2
17/06/2021	28.7	5.5	14.5	47	20	2
18/06/2021	32.8	4.4	16.8	56	10	2
19/06/2021	28.5	3.1	13.6	42	10	2
20/06/2021	29.8	3.0	13.9	41	10	1.5
21/06/2021	29.8	4.0	14.6	42	10	2
22/06/2021	30.6	4.7	14.9	41	10	2
23/06/2021	28.7	4.9	14.6	55	10	2
24/06/2021	28.8	-0.3	12.5	41	10	2
25/06/2021	30.2	-0.1	13.1	36	10	2
26/06/2021	27.2	4.7	13.7	40	10	2
27/06/2021	25.2	2.7	12.6	44	10	2.5
28/06/2021	30.8	3.6	14.6	31	10	2
29/06/2021	29.2	1.7	13.1	50	10	2
30/06/2021	28.0	1.6	12.7	57	10	1.5
PROMEDIO	28.6	3.0	13.6	43.4	11.6	2.0
MAX	32.8	5.5	16.8	86.0	36.0	3.0
MIN	21.4	-0.3	10.4	25.0	10.0	1.5



FECHA	TEMPERATURA (°C)			HR (%)		EVAP
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	(mm)
1/07/2021	27.8	0.2	12.5	45	12	2
2/07/2021	29.6	0.2	13.2	49	15	2
3/07/2021	29.4	-0.2	12.9	44	13	2
4/07/2021	29.5	-0.4	13.0	48	13	1.5
5/07/2021	30.7	0.0	13.6	56	12	2
6/07/2021	30.9	0.8	14.0	51	13	2.5
7/07/2021	30.7	0.8	13.1	51	13	2.5
8/07/2021	31.4	2.9	15.2	58	12	2.5
9/07/2021	30.1	2.1	14.2	41	11	2
10/07/2021	25.9	2.2	12.5	45	12	2
11/07/2021	29.9	2.1	14.4	52	12	3
PROMEDIO	29.6	1.0	13.5	49.1	12.5	2.2
MAX	31.4	2.9	15.2	58.0	15.0	3.0
MIN	25.9	-0.4	12.5	41.0	11.0	1.5

Anexo 2. Cálculo de la lámina de riego por el método de tanque evaporímetro tipo A.

CALCULO DE ETO Y LAMINA DE RIEGO MEDIANTE TANQUE EVAPORIMETRO TIPO A

<p>$E_{to} = E_v * K_p$</p> <p>Donde:</p> <p>E_{to} = Evapotranspiración de referencia en mm/día</p> <p>E_v = Evaporación de tanque en mm/día</p> <p>K_p = Factor de tanque (cuadro 1)</p> <p>$K_p = 0,61 + 0,00341 HR_{media} - 0,000162 u_2 HR_{media}$ $- 0,00000959 u_2 BORDE + 0,00327 u_2 \ln(BORDE)$ $- 0,00289 u_2 \ln(86,4 u_2) - 0,0106 \ln(86,4 u_2) \ln(BORDE)$ $+ 0,00063 [\ln(BORDE)]^2 \ln(86,4 u_2)$</p>	<p>$ET_c = K_c * ET_o$</p> <p>$LR = \frac{ET_c}{\text{Eficiencia de riego (0.9)}}$</p> <p>$LR = \frac{ET_c}{CU}; LR = ET_c * f$</p> <p>$LR * Area(m^2)$</p>
--	---

Nro	Fecha	Evaporación mm/día	Ft	ETo mm/día	Kc	ETc (mm)	R (100ETc)	(80ETc)	R (60ETc)	L.R (40ETc)
1	20/04/2021	2	0.77	1.5	0.55	0.86	0.94	0.94	0.94	0.94
2	21/04/2021	2.5	0.77	1.9	0.55	1.07	1.17	1.17	1.17	1.17
3	22/04/2021	2.5	0.80	2.0	0.55	1.11	1.22	1.22	1.22	1.22
4	23/04/2021	2	0.72	1.4	0.55	0.79	0.87	0.87	0.87	0.87
5	24/04/2021	3	0.76	2.3	0.55	1.26	1.38	1.38	1.38	1.38
6	25/04/2021	2.5	0.71	1.8	0.55	0.98	1.08	1.08	1.08	1.08
7	26/04/2021	1.5	0.74	1.1	0.55	0.61	0.67	0.67	0.67	0.67
8	27/04/2021	1.5	0.77	1.2	0.55	0.64	0.70	0.70	0.70	0.70
9	28/04/2021	2	0.77	1.5	0.55	0.85	0.94	0.94	0.94	0.94
10	29/04/2021	2	0.77	1.5	0.55	0.85	0.93	0.93	0.93	0.93
11	30/04/2021	2.5	0.73	1.8	0.55	1.01	1.10	1.10	1.10	1.10
12	1/05/2021	2.5	0.70	1.7	0.55	0.96	1.06	1.06	1.06	1.06
13	2/05/2021	2	0.71	1.4	0.55	0.78	0.86	0.86	0.86	0.86
14	3/05/2021	2	0.74	1.5	0.55	0.82	0.89	0.89	0.89	0.89
15	4/05/2021	2.5	0.73	1.8	0.55	1.01	1.11	1.11	1.11	1.11
16	5/05/2021	2.5	0.83	2.1	0.55	1.15	1.26	1.26	1.26	1.26
17	6/05/2021	1.5	0.81	1.2	0.55	0.67	0.74	0.74	0.74	0.74
18	7/05/2021	1.5	0.81	1.2	0.55	0.67	0.74	0.74	0.74	0.74
19	8/05/2021	2.5	0.84	2.1	0.55	1.17	1.28	1.28	1.28	1.28
20	9/05/2021	1.5	0.85	1.3	0.55	0.71	0.78	0.78	0.78	0.78
21	10/05/2021	1.5	0.86	1.3	0.70	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00
22	11/05/2021	1.5	0.88	1.3	0.70	0.92	1.01	1.01	1.01	1.01
23	12/05/2021	2.5	0.83	2.1	0.70	1.46	1.60	1.60	1.60	1.60
24	13/05/2021	2	0.77	1.5	0.70	1.08	1.18	1.18	1.18	1.18
25	14/05/2021	2	0.73	1.5	0.70	1.02	1.12	1.12	1.12	1.12
26	15/05/2021	1.5	0.83	1.2	0.70	0.87	0.96	0.96	0.96	0.96



Nro	Fecha	Evaporación mm/día	Ft	ETo mm/día	Kc	c (mm)	L.R (100ETc)	LR (80ETc)	L.R (60ETc)	L.R (40ETc)
27	16/05/2021	1.5	0.75	1.1	0.70	0.79	0.87	0.87	0.87	0.87
28	17/05/2021	2	0.74	1.5	0.99	1.47	1.61	1.29	0.97	0.64
29	18/05/2021	2	0.81	1.6	0.99	1.62	1.77	1.42	1.06	0.71
30	19/05/2021	1.5	0.73	1.1	0.99	1.09	1.19	0.95	0.72	0.48
31	20/05/2021	2.5	0.74	1.8	0.99	1.83	2.01	1.60	1.20	0.80
32	21/05/2021	2.5	0.71	1.8	0.99	1.77	1.94	1.55	1.17	0.78
33	22/05/2021	2.5	0.74	1.9	0.99	1.85	2.02	1.62	1.21	0.81
34	23/05/2021	1.5	0.72	1.1	0.99	1.08	1.18	0.95	0.71	0.47
35	24/05/2021	1.5	0.73	1.1	0.99	1.08	1.19	0.95	0.71	0.47
36	25/05/2021	1.5	0.80	1.2	0.99	1.20	1.31	1.05	0.79	0.53
37	26/05/2021	2	0.81	1.6	0.99	1.61	1.76	1.41	1.06	0.70
38	27/05/2021	1.5	0.80	1.2	0.99	1.19	1.30	1.04	0.78	0.52
39	28/05/2021	1.5	0.82	1.2	0.99	1.23	1.35	1.08	0.81	0.54
40	29/05/2021	2	0.78	1.6	0.99	1.55	1.70	1.36	1.02	0.68
41	30/05/2021	1.5	0.80	1.2	0.99	1.19	1.30	1.04	0.78	0.52
42	31/05/2021	1.5	0.75	1.1	0.99	1.11	1.22	0.98	0.73	0.49
43	1/06/2021	2	0.75	1.5	0.99	1.48	1.63	1.30	0.98	0.65
44	2/06/2021	2	0.76	1.5	0.99	1.50	1.65	1.32	0.99	0.66
45	3/06/2021	2.5	0.76	1.9	0.99	1.90	2.08	1.66	1.25	0.83
46	4/06/2021	2	0.74	1.5	0.99	1.47	1.61	1.29	0.97	0.64
47	5/06/2021	2	0.90	1.8	0.99	1.79	1.96	1.57	1.17	0.78
48	6/06/2021	2	0.73	1.5	0.99	1.44	1.58	1.27	0.95	0.63
49	7/06/2021	2	0.73	1.5	0.99	1.44	1.58	1.27	0.95	0.63
50	8/06/2021	2	0.72	1.4	0.99	1.43	1.57	1.25	0.94	0.63
51	9/06/2021	3	0.71	2.1	0.99	2.12	2.32	1.86	1.39	0.93
52	10/06/2021	1.5	0.69	1.0	0.99	1.03	1.13	0.91	0.68	0.45
53	11/06/2021	1.5	0.75	1.1	0.99	1.12	1.23	0.98	0.74	0.49
54	12/06/2021	2.5	0.71	1.8	0.99	1.75	1.92	1.54	1.15	0.77
55	13/06/2021	2	0.77	1.5	0.99	1.52	1.67	1.34	1.00	0.67
56	14/06/2021	2	0.75	1.5	0.99	1.48	1.63	1.30	0.98	0.65
57	15/06/2021	2	0.70	1.4	0.99	1.38	1.52	1.21	0.91	0.61
58	16/06/2021	2	0.75	1.5	0.99	1.48	1.63	1.30	0.98	0.65
59	17/06/2021	2	0.73	1.5	0.99	1.46	1.60	1.28	0.96	0.64
60	18/06/2021	2	0.80	1.6	0.99	1.59	1.74	1.39	1.04	0.69
61	19/06/2021	2	0.75	1.5	0.99	1.49	1.63	1.31	0.98	0.65
62	20/06/2021	1.5	0.75	1.1	1.05	1.18	1.29	1.03	0.77	0.52
63	21/06/2021	2	0.75	1.5	1.05	1.58	1.73	1.38	1.04	0.69
64	22/06/2021	2	0.75	1.5	1.05	1.57	1.72	1.37	1.03	0.69
65	23/06/2021	2	0.79	1.6	1.05	1.67	1.83	1.46	1.10	0.73
66	24/06/2021	2	0.75	1.5	1.05	1.57	1.72	1.37	1.03	0.69
67	25/06/2021	2	0.73	1.5	1.10	1.61	1.76	1.41	1.06	0.70
68	26/06/2021	2	0.74	1.5	1.10	1.64	1.79	1.43	1.08	0.72
69	27/06/2021	2.5	0.76	1.9	1.10	2.08	2.28	1.82	1.37	0.91



Nro	Fecha	Ev mm/día	Ft	To mm/día	Kc	Tc (mm)	L.R 00ETc)	L.R (80ETc)	L.R 60ETc)	L.R 40ETc)
70	28/06/2021	2	0.71	1.4	1.10	1.57	1.72	1.38	1.03	0.69
71	29/06/2021	2	0.78	1.6	1.20	1.87	2.04	1.64	1.23	0.82
72	30/06/2021	1.5	0.80	1.2	1.20	1.44	1.58	1.26	0.95	0.63
73	1/07/2021	2	0.76	1.5	1.20	1.82	1.99	1.59	1.19	0.80
74	2/07/2021	2	0.76	1.5	1.22	1.85	2.03	1.63	1.22	0.81
75	3/07/2021	2	0.75	1.5	1.22	1.83	2.01	1.60	1.20	0.80
76	4/07/2021	1.5	0.76	1.4	1.22	1.68	1.84	1.47	1.10	0.74
77	5/07/2021	2	0.81	1.6	1.22	1.97	2.16	1.73	1.30	0.86
78	6/07/2021	2.5	0.77	1.9	1.22	2.36	2.59	2.07	1.55	1.03
79	7/07/2021	2.5	0.77	1.9	1.22	2.36	2.59	2.07	1.55	1.03
80	8/07/2021	2.5	0.80	2.0	1.27	2.54	2.79	2.23	1.67	1.11
81	9/07/2021	2	0.75	1.5	1.27	1.91	2.10	1.68	1.26	0.84
82	10/07/2021	2	0.77	1.5	1.27	1.95	2.14	1.71	1.28	0.85
83	11/07/2021	3	0.78	2.3	1.27	2.97	3.26	2.61	1.96	1.30



Lámina de riego promedio mensual

Tratamiento T1: 100ETc				
Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
ETo	1.65	1.46	1.51	1.73
Kc	0.55	0.79	1.03	1.24
ETc	0.91	1.16	1.55	2.14
pe	0.00	0.00	0.00	0.00
L. neta	0.91	1.16	1.55	2.14
Efa (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
Cu (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
L. bruta	1.00	1.27	1.70	2.35

Tratamiento T2: 80ETc				
Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
ETo	1.63	1.41	1.51	1.73
Kc	0.55	0.79	1.03	1.24
ETc	0.73	0.93	1.24	1.71
pe	0.00	0.00	0.00	0.00
L. neta	0.73	0.93	1.24	1.71
Efa (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
Cu (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
L.bruta	0.80	1.01	1.36	1.88

Tratamiento T3: 60ETc				
Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
ETo	1.65	1.46	1.51	1.73
Kc	0.55	0.79	1.03	1.24
ETc	0.55	0.69	0.93	1.28
Pe	0.00	0.00	0.00	0.00
L. neta	0.55	0.69	0.93	1.28
Efa (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
Cu (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
L.bruta	0.60	0.76	1.02	1.41



Tratamiento T4: 40ETc				
Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio
ETo	1.63	1.41	1.51	1.73
Kc	0.55	0.79	1.03	1.24
ETc	0.36	0.46	0.62	0.86
Pe	0.00	0.00	0.00	0.00
L. neta	0.36	0.46	0.62	0.86
Efa (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
Cu (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
L.bruta	0.40	0.51	0.68	0.94

Nota: ETo: Evapotranspiración de referencia, ETc:
Evapotranspiración de cultivo
L. neta: Lamina neta, L. Bruta: Lamina bruta, Cu:
Coeficiente de uniformidad



Anexo 3 Balance hídrico

Semana	La (mm)	D (mm)	%D	ETc lis	ETo A	Kc
1	8.4	2.7	32.0	5.68	12.1	0.47
2	7.8	2.5	31.6	5.33	10.7	0.50
3	7.8	2.5	32.1	5.31	11.0	0.48
4	9.0	3.2	35.6	5.82	10.3	0.57
5	13.7	5.6	40.7	8.15	10.4	0.78
6	11.93	3.2	27.2	8.69	9.1	0.95
7	14.11	4.1	29.1	10.00	11.1	0.90
8	13.71	2.7	19.8	10.99	10.5	1.04
9	13.74	1.8	12.8	11.98	10.1	1.19
10	15.54	3.3	21.0	12.28	10.8	1.13
11	16.57	2.3	13.8	14.29	10.3	1.39
12	18.56	4.1	22.1	14.45	11.3	1.28
Total	150.91	37.95	25.1	113.0	127.6	

EVALUACION DE COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD DE CINTA DE GOTEO							
LISIMETROS	EMISOR	CAUDAL/ 5 min		Desv Est	0.03		
		ml	Caudal l/h				
L1	1	39	0.47	Valores más bajos 25%	0.44		
	2	37	0.44				
L2	1	43	0.52			0.43	
	2	40	0.48			0.44	
L3	1	42	0.50			0.42	
	2	41	0.49			0.43	
L4	1	42	0.50			0.42	
	2	41	0.49				
L5	1	43	0.52			Prom bajos por gotero (q25)	0.43
	2	40	0.48				
L6	1	37	0.44			Promedio muestra (q100)	0.47
	2	36	0.43				
L7	1	37	0.44				
	2	35	0.42				
L8	1	40	0.48	CU =q25/q100	0.91		
	2	42	0.50				
L9	1	41	0.49				
	2	40	0.48				
L10	1	41	0.49				
	2	39	0.47				
L11	1	40	0.48				
	2	40	0.48				
L12	1	36	0.43				
	2	35	0.42				



Anexo 4. Producción de biomasa y hojas por tratamiento.

PESO POR PLANTA (g.)												
PLANTA	T1 (100%ETc)			T2 (80%ETc)			T3 (60%ETc)			T4 (40%ETc)		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
1	52.20	57.99	49.65	62.25	66.75	78.19	52.50	58.30	64.34	39.44	49.93	62.81
2	37.90	36.38	40.92	59.95	55.85	53.85	48.55	59.90	60.64	58.72	50.34	51.84
3	34.11	39.02	40.98	43.65	56.85	51.85	41.06	33.10	34.95	30.94	31.60	59.11
4	41.21	37.84	36.28	60.95	53.15	60.75	41.85	37.10	41.34	35.84	31.60	48.81
5	34.41	35.40	36.78	48.05	66.35	53.05	40.45	46.90	39.54	36.24	40.50	38.65
6	40.31	35.00	37.78	45.15	53.35	53.85	42.25	35.10	29.84	33.34	46.40	23.76
7	31.61	35.20	35.18	41.65	51.85	46.75	44.25	41.70	42.25	31.34	34.60	23.86
8	30.60	42.71	36.48	43.25	47.05	52.55	50.00	32.30	48.25	31.74	29.35	25.09
9	16.71	19.20	21.80	21.90	28.10	24.50	24.05	20.85	28.79	17.06	22.30	18.80
10	15.91	23.71	20.10	23.50	29.30	19.30	25.80	22.30	18.95	19.96	26.20	14.48
TOTAL	335.0	362.5	355.9	450.3	508.6	494.6	410.8	387.6	408.9	334.6	362.8	367.2
PROMEDIO	351.1			484.5			402.4			354.9		

Tratamiento/ Lisímetro	Producción de hojas (g.)			Promedio
	L1	L2	L3	
T-1	126	133	127	128.7
T-2	164	173	172	169.7
T-3	142	137	143	140.7
T-4	122	126	130	126.0

Anexo 5. Registro de parámetros como la altura, diámetros de tallo, número de

hojas, largo y ancho de las hojas.

TRATAMIENTO USIMETRO	ALTURA DE PLANTA (cm)																							
	T1						T2						T3						T4					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/05/2021	7.5	6	9.2	9.2	7.7	7.2	7.8	10.5	8.5	7	10.5	8.5	6	8.5	11	6.7	6.7	9	8.5	9.5	8.5	9.5	7.8	
21/05/2021	8	6.7	9.7	9.7	8.2	7.7	8.3	11.5	9.5	7.5	11.5	9.5	6.5	9.3	12	7.7	7.7	10	9.5	11	9.5	7	8.3	
24/05/2021	9	7.5	11	11	9	8.5	9.2	12.5	10.5	8.5	12.5	10.5	7.5	10.3	13	9.2	9.2	12	11	12	11.0	8	8.3	
27/05/2021	10	8.5	12	12	10	9.5	10.2	14	12.5	10	14	12	9	11.9	15	11	11	13	13	14	12.5	9	9.3	
30/05/2021	11	9.5	13	13	11	11	11.2	16.5	15	12.5	16.5	14.5	11.5	14.4	16	12	12	15	14	15	14.0	10	10.3	
2/06/2021	12	11	14	14	12	12	12.2	19	18	15	19	17	14	17.0	18	14	14	17	16	17	16.0	11.5	12	
5/06/2021	13	12	16	15	13	13	13.6	21.5	20	18	23	20	17	19.9	19	17	17	20	19	20	18.5	14	14	
8/06/2021	15	14	17	17	15	15	15.5	24.5	23	20	26	23.5	20	22.8	23	20	20	23	22	22	21.5	15	15	
11/06/2021	17	15	20	19	17	17	17.6	28	28	23.5	29	27	22	26.3	25	23	23	24	23	23	23.2	16.5	17.3	
14/06/2021	19	17	23	20	19	19	19.4	32	30.5	26	30	30	25	28.9	25	24	24	27	25	25	25.0	18	20	
17/06/2021	21	19	25	22	22	22	21.8	34	33.5	31	36.5	33	28	32.7	29	29	29	30	28	28	28.8	22	23	
20/06/2021	25	22	28	24	25	24	24.7	40	40	35	40	40	30	37.5	33	33	33	36	31	32	32.9	25.5	27	
23/06/2021	29	25	33	27	29	29	28.6	42	42	39.5	45	45	35	41.4	38	37	37	38	34	35	36.5	29	30	
26/06/2021	31	27	35	28	31	30	30.3	44	43	40	45	46	36	42.3	39	40	40	41	34	35	38.1	32	33	
29/06/2021	34	29	39	30	34	34	33.2	47	46	41	50	51	41	46.0	42	42	42	43	37	39	40.8	34	35	
2/07/2021	37	30	41	32	37	37	35.7	48	48	49	55	54	44	49.3	43	44	44	46	41	42	43.3	36	38	
5/07/2021	38	32	44	34	39	39	37.7	49	49	50	57	58	44	51.2	47	46	46	48	42	42	45.2	38	40	
8/07/2021	41	35	45	36	41	42	39.9	51	50.5	53	60	62	46	53.8	50	48	49	51	44	44	47.4	40	42	
11/07/2021	46	39	49	39	46	46	44.2	53	52	58	64	66	48	56.8	55	51	53	57	49	46	51.8	40	46	

TRATAMIENTO USIMETRO	DIAMETRO DE TALLO (mm)																							
	T1						T2						T3						T4					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/05/2021	1.5	1.5	1.3	1.3	1.7	1.5	1.5	2	1.9	1.9	2	1.9	1.2	1.8	1.7	1.2	1.7	1.2	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	
21/05/2021	1.7	1.7	1.4	1.4	1.7	1.7	1.6	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	1.3	2.1	1.8	1.3	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6		
24/05/2021	1.8	1.8	1.5	1.5	1.8	1.8	1.7	2.4	2.4	2.4	2.4	1.4	2.2	2	1.5	2	1.5	2	2	1.8	1.7	1.7		
27/05/2021	1.9	1.9	1.6	1.6	1.9	1.9	1.8	2.6	2.6	2.6	2.6	1.6	2.4	2.3	1.8	2.3	1.8	2.3	2.3	2.1	1.8	1.8		
30/05/2021	2	2	1.7	1.7	2	2	1.9	2.8	2.8	2.8	2.8	1.8	2.6	2.6	2.1	2.6	2.1	2.6	2.6	2.4	1.9	1.9		
2/06/2021	2.2	2.2	1.8	1.8	2.2	2.2	2.0	3	3	3	3	2	2.8	3	2.5	3	2.5	3	3	2.8	2.2	2.2		
5/06/2021	3.5	3.5	2.7	2.7	3.5	3.5	2.9	4.2	4.2	5	5	4.2	3.2	4.3	3.5	3	4	4	5	4	3.9	3		
8/06/2021	4.5	4	3.7	3.2	3.5	3	3.4	4.5	4.5	5	5	3.5	4.6	4	3.5	5	5	5	5	4.6	4	4		
11/06/2021	4.5	4	4.2	3.2	4	3.5	3.7	6	5.3	6	6	4	5.6	5	4.2	6	6	6	6	5.5	5	5		
14/06/2021	5.3	4.7	4.7	3.7	5.5	4	4.5	7	7	7	6.5	8	4.5	6.7	5	4.5	6	6	6	6	5.6	4.5		
17/06/2021	6	5.5	4.5	4.5	6.5	4.5	5.3	7	7	7	8	6	7.0	6	5	7	6.2	7	6.5	6.3	4.9	6.2		
20/06/2021	6.5	5.5	6	5	6.5	5.5	5.8	7	7	8	7	9	6	7.3	7	5.5	7	6.4	7	7	6.7	5		
23/06/2021	7.5	6.5	6.5	5.5	6.5	6	6.1	7.5	7.5	9	8	10	7	8.2	7.2	6	7	6.6	7.5	8	7.1	5.8		
26/06/2021	8	7	6	7.5	6.5	6.8	8	8	8	10	7.5	8	8	8.9	7.5	6	8	7.3	8	8.5	7.6	6		
29/06/2021	8.5	7.5	7.5	6.5	8	7	7.3	8	8	10	8.5	11	8	8.9	7.8	6.5	8	7.5	8.5	9	7.9	6.3		
2/07/2021	8.6	7.6	7.6	6.6	8.6	7.6	7.6	8	8	10	9	12	8	9.2	8	7.2	8.2	7.5	9	9.5	8.2	6.6		
5/07/2021	8.7	7.7	8.2	6.7	8.7	7.7	7.8	8	8	12	9	13	9	9.8	8.2	7.5	8.6	7.8	9.5	9.5	8.5	6.8		
8/07/2021	9	7.9	9	7.2	8.8	7.9	8.2	8	8	12	9	13	9	9.8	8.5	8	9	8	10	9.7	8.9	6.9		
11/07/2021	9	8	9.4	7.8	9	8	8.6	8	8	12	9	14	9	10.0	8.5	8	9.5	8	11	10	9.2	7		




TRATAMIENTO LISIMETRO	CANTIDAD DE HOJAS																							
	T1						T2						T3						T4					
	L1	L2	L3	PROM	L1	L2	L3	PROM	L1	L2	L3	PROM	L1	L2	L3	PROM	L1	L2	L3	PROM				
Fecha/ Planta	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
2/06/2021	6	5	7	7	6	6	9	9	9	9	8	7	8.5	6	6	9	8	9	7	7.5	7	7	7	7
5/06/2021	6	5	8	7	7	6	9	9	9	9	9	7	8.7	8	6	9	8	9	7	7.8	7	7	8	8
8/06/2021	7	5	8	7	8	7	9	9	9	9	9	9	9.0	8	6	9	9	9	8	8.2	7	7	8	9
11/06/2021	7	6	8	7	8	7	9	9	10	9	9	9	9.2	8	7	9	9	10	8	8.5	7	9	9	10
14/06/2021	8	7	9	8	9	9	10	10	12	10	11	10	10.5	8	7	12	10	11	10	9.7	7	9	9	10
17/06/2021	10	7	11	10	11	9	12	11	12	10	13	11	11.5	10	9	13	12	12	12	11.3	8	10	11	12
20/06/2021	11	7	13	12	12	11	14	14	16	12	13	12	13.5	11	9	14	12	14	12	12.0	10	12	11	12
23/06/2021	13	9	14	13	14	11	14	14	16	14	14	14	14.3	12	11	14	14	14	14	13.2	10	14	14	16
26/06/2021	14	10	16	14	14	14	16	16	16	15	16	15	15.7	14	12	16	15	16	15	14.7	10	15	14	16
29/06/2021	15	11	17	15	15	14	16	16	16	15	18	16	16.2	14	12	17	16	18	17	15.7	12	16	16	15
2/07/2021	16	11	19	16	16	17	16	16	18	17	21	18	17.7	17	13	19	17	18	18	17.0	13	17	17	18
5/07/2021	17	13	19	17	17	17	16	16	19	17	21	20	18.2	17	14	21	17	20	20	18.2	13	19	18	19
8/07/2021	19	14	21	18	19	18	17	17	20	18	22	20	19.2	19	14	22	18	21	20	19.0	14	19	18	19
11/07/2021	20	16	22	18	20	20	18	18	22	20	22	22	20.7	20	16	22	20	22	22	20.3	15	20	19	20

LONGITUD DE HOJAS (cm)																												
TRATAMIENTO	T1						T2						T3						T4									
	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L3				
LISIMETRO	1	2	3	4	5	6	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM			
Fecha/ Planta	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
2/06/2021	4	3.9	3.8	3.7	3.6	3.9	3.8	4.5	4.5	5	4.4	4.9	3.2	4.4	4.3	3.5	4.2	4.9	4.2	4	4.2	3.6	3.5	4	4	4.6	4.0	
5/06/2021	4.7	4.5	4.2	4.2	4	4.3	4.2	5.4	5.2	5.9	5.4	6.2	3.8	5.3	5.3	4.5	5.2	5.4	5.3	4.2	5.0	4	4.8	5	4.8	4.8	5	
8/06/2021	5	4.7	4.5	4.3	5	4.7	4.6	6.2	5.9	6.7	5.7	7.2	4.2	6.0	5.5	4.6	5.5	6	5.7	4.8	5.4	4.5	5.5	5	5.4	5.1	5.6	
11/06/2021	5.7	4.9	4.8	4.4	5.2	4.9	4.8	6.3	6.1	7.2	6.2	7.6	5.2	6.4	5.8	5	6.1	6.4	6	5	5.7	4.9	6.3	6.1	5.5	6.4	6.5	
14/06/2021	6	5.4	5.4	5	6	5.6	5.5	6.9	6.9	7.2	6.2	7.9	5.7	6.8	6.2	5	6.3	6.5	6.2	5.5	6.0	5	7	6.5	6	6.8	6.6	
17/06/2021	6.5	6.2	6.1	5.5	6.2	5.9	5.9	7.1	7.2	8.7	7.4	8.4	6.2	7.5	6.5	5.5	7	6.8	7.5	7	6.7	5.7	7	7	7.4	7.4	6.9	
20/06/2021	6.7	6.6	6.4	5.8	6.5	6.2	6.2	7.3	7.4	9.2	7.7	8.7	6.8	7.9	6.7	6	7.3	7	8	7	7.0	6.1	7.6	7.3	7.3	7.7	7.8	
23/06/2021	6.9	6.6	6.7	6.5	7	6.8	6.8	7.4	7.6	9.5	7.7	9	7.5	8.1	7	6.2	7.6	7.2	8	7.2	7.2	6.4	7.6	7.6	7.1	8.2	7.8	
26/06/2021	7.1	6.8	7.3	7.1	7.3	7	7.2	7.5	7.8	10	7.8	9.4	7.7	8.4	7.2	6.6	7.8	7.8	8.5	7.5	7.6	6.5	8.1	7.6	7.2	8.4	8.4	
29/06/2021	7.3	7	7.8	7.7	7.8	7.2	7.6	7.7	7.8	10.7	8.2	10	8	8.7	8	7	8	8.4	9	7.7	8.0	7	8.5	8.1	7.6	9	9.1	
2/07/2021	7.7	7.1	8.3	8.1	8.1	7.7	8.1	7.8	8	10.8	8.5	10.4	8.2	9.0	8.4	7.6	8.2	8.8	9.5	8	8.4	7	8.5	8.2	7.8	9.1	9.4	
5/07/2021	8.9	7.4	8.8	8.3	8.2	7.9	8.3	8	10.9	8.8	11.2	8.4	9.2	8.7	7.7	8.8	9.1	9.9	8.3	8.8	7	8.8	8.3	8.2	9.8	9.6		
8/07/2021	9.2	7.9	9.4	8.8	8.5	8.1	8.7	8.2	8.1	12.2	9.5	11.7	8.7	9.7	8.9	7.9	9.3	10	10	8.4	9.2	7	9.3	9.2	8.4	10	9.8	
11/07/2021	9.4	8	9.5	9.2	9.5	8.2	9.1	8.2	8.2	12.7	10.1	12.4	9.6	10.2	9.1	8.3	9.3	11	11	8.6	9.4	7	9.4	10	9	10.1	10	


ANCHO DE HOJAS (cm)																													
TRATAMIENTO	T1						T2						T3						T4										
	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	L3	L1	L2	L3	L3	L3	
LISIMETRO	1	2	3	4	5	6	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM	L1	L2	L3	L3	L3	PROM	L1	L2	L3	L3
Fecha/ Planta	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		
2/06/2021	3.5	3.2	3.3	2.8	3.2	3.5	3.2	4	4.1	4.2	3.9	4.2	2.8	3.9	4	3.3	4	4.1	4	3.5	3.8	2.9	3	3.5	3.9	3.7	4.2		
5/06/2021	3.6	3.4	3.4	2.9	3.5	3.6	3.4	4.4	4.5	4.7	4.3	5.4	3.4	4.5	4.3	3.5	4.2	4.3	3.8	4.1	3.3	3.5	3.8	4.1	4	4.6			
8/06/2021	3.9	3.7	3.6	3	3.8	3.7	3.5	4.7	4.7	5.2	4.7	6.4	3.7	4.9	4.6	3.7	4.6	4.5	4.7	4.2	4.4	3.5	4	4	4.3	4.5			
11/06/2021	4.7	4.1	3.7	3.1	4.3	4.4	3.9	5	5.7	6	5	7.4	3.7	5.5	5.2	3.7	4.8	4.4	5	4.3	4.6	3.9	4.8	4.9	4.5	5.2			
14/06/2021	5.1	5.2	4	4	4.4	4.7	4.3	5.2	5.5	6.2	5.4	7.7	4.2	5.7	5	4.8	5.3	4.8	5.3	4.8	5.0	4	6	5.4	4.5	5.6			
17/06/2021	5.3	5.6	4.2	4.3	4.6	5	4.5	5.4	5.5	7.8	6.9	8.3	5.2	6.5	5.3	5.3	5.5	5.2	6	5	5.4	4.4	6.2	5.8	5.8	6.1			
20/06/2021	5.5	5.7	5	4.8	4.8	5.4	5.0	5.7	5.8	8	7.2	8.5	5.5	6.8	5.6	5.5	5.6	5.5	6.2	5.8	5.7	5.1	6.2	5.9	6	6.3			
23/06/2021	5.6	5.7	5.2	5.3	5.2	5.8	5.4	6	6.2	8.2	7.4	9	5.7	7.1	5.8	5.7	5.8	5.8	6.2	6	5.9	5.8	6.3	6	6.3	6.5			
26/06/2021	5.6	5.8	5.3	5.6	5.3	6.1	5.6	6.2	6.3	8.7	7.6	9.2	6.2	7.4	6	5.8	6	6.2	6.6	6	6.1	5.9	6.5	6.2	6.5	6.8			
29/06/2021	6	5.9	5.8	6.1	5.5	6.4	6.0	6.4	6.6	9.4	7.8	9.3	6.4	7.7	6.4	6	6.3	6.3	7	6.5	6.4	6.8	6.3	6.8	7	7			
2/07/2021	6.1	5.9	6.3	6.3	5.8	6.6	6.3	6.7	6.8	9.6	8	9.4	6.4	7.8	6.5	6.8	6.5	6.4	7.6	6.5	6.7	6.3	7	6.5	7	7.2			
5/07/2021	6.4	6.1	6.7	6.8	6.1	6.7	6.6	6.9	7	10.2	8.2	10.3	6.4	8.2	6.8	7.4	6.9	7.5	8.2	7	7.3	6.3	7.3	6.8	7.2	7.8			
8/07/2021	6.6	6.5	7	7.8	6.2	7.4	7.1	7	7.2	11	8.2	11.5	6.5	8.6	6.9	7.5	7.4	7.6	8.4	7.2	7.5	6.4	7.3	7.1	7.3	8			
11/07/2021	6.7	6.7	7.2	8.4	6.3	7.5	7.4	7.2	7.2	11.6	8.4	11.7	8.2	9.1	7	7.7	8	7.8	8.7	7.4	7.8	6.4	7.4	7.5	7.4	8.2			



Anexo 6. Certificado de análisis de agua.



PERU Ministerio
de Agricultura y Riego



CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE AGUA

Análisis N°: 1265		
Fecha de Entrada: 23 de Marzo del 2021		
Fecha de Certificación: 25 de Marzo del 2021		
Sistema de Riego:		

Localización: Sheydy Ramos Mayta Muestra 1 Departamento de Puno.

Determinaciones		
pH	8.140	
C.E.	3.06	25°C (mS/cm)
Sales Totales	3.60	(mg/l)
Dureza Total	35.06	CaCO ₃ (G.H.F.)
Alcalinidad total	1740.00	CaCO ₃
R.A.S.	0.021	
S.C.R.	-5.26	
Temperatura	14.90	°C
Oxígeno	4.50	(mg/l)
CATIONES	meq/l	mg/l
Calcio	3.00	60.12
Magnesio	4.00	48.64
Potasio	0.19	7.42
Sodio	0.04	0.92
TOTAL	7.23	
ANIONES	meq/l	mg/l
Cloruros	8.00	283.68
Sulfatos	1.33	63.87
Carbonatos	0.00	0.00
Bicarbonatos	1.74	106.15
TOTAL	11.07	

Representación grafica	Muy baja	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
pH					
C.E.					
Sales Totales					
Dureza Total					
R.A.S.					
S.C.R.					
Índice de Scott					
Boro					
Sodio					
Nitratos					
Cloruros					
Bicarbonatos					

Otras Determinaciones	Resultado	
	meq/l	mg/l
Nitratos (N de NO ₃)	0.40	24.80


Clasificación Riverside: C4S1

R.A.S: Aguas utilizables con precauciones


S.C.R: Agua recomendable.

Tipo de Agua: Dura

Diagnóstico y Recomendaciones (Normas de L.V. Wilcox, Diagrama): Agua aceptable su uso con cierta precaución.



BICENTENARIO
PERÚ 2021



www.inia.gob.pe

ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051)363-812

Anexo 7. Panel fotográfico.



Foto 01. Instalación de tensiómetros.



Foto 02. Lectura de la temperatura y humedad relativa.



Foto 03. Etapa inicial de crecimiento de la quinua.



Foto 04. Marcación para el registro de parámetros morfológicos de la quinua.



Foto 05. Fase de crecimiento vegetativo del cultivo de quinua variedad Salcedo Inia.



Foto 06. Fase de crecimiento vegetativo del cultivo de quinua variedad Salcedo Inia.

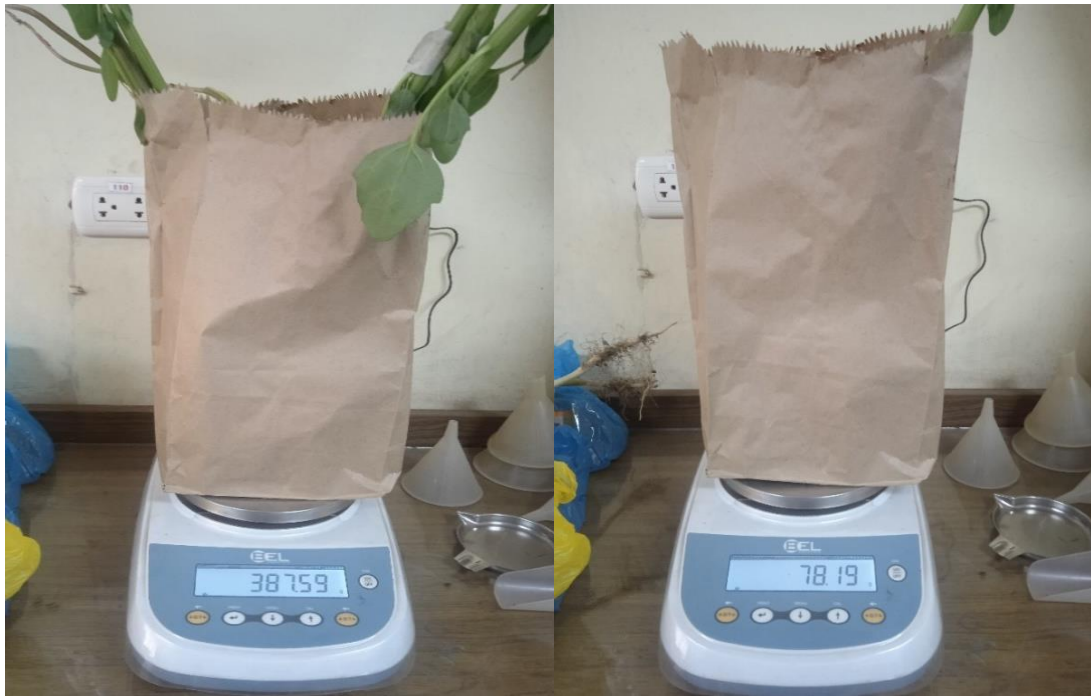


Foto 06. Medición de biomasa de la quinua Salcedo INIA.



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo SNEYDY BRIND RAMOS MAYTA,
identificado con DNI 76905954 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRÍCOLA,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCION DE HOJAS
DEL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium Quinoa Willd) VARIEDAD SALCEDO INIA
BASO INVERNADERO EN LA ESTACION EXPERIMENTAL INIA SALCEDO -PUNO, 2021 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

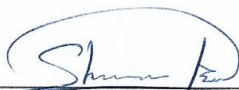
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de JULIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo SHEYDY BRYD RAMOS MAYTA,
identificado con DNI 76905954 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EFECTO DE DIFERENTES LAMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCION DE HOJAS DEL
CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) VARIEDAD SALCEDO INIA BAJO
INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA SALCEDO -PUNO, 2021"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de JULIO del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella