



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



**REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS DE
ZANAHORIA (*Daucus carota*) Y BETERRAGA (*Beta vulgaris*)
MEDIANTE TRES MÉTODOS EN EL DISTRITO DE CHUCUITO –
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUZ D´YANIRA AMANQUI FLORES

Bach. JERSON CRUZ MARAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTI
VOS DE ZANAHORIA (*Daucus carota*) Y B
ETERRAGA (*Beta vulgaris*) MEDIANTE TR
ES MÉTODOS EN EL DISTRITO DE CHUC
UITO – PUNO

AUTOR

LUZ D'YANIRA AMANQUI FLORES y JER
SON CRUZ MARAZA

RECuento de palabras

25364 Words

RECuento de caracteres

135399 Characters

RECuento de páginas

172 Pages

Tamaño del archivo

65.8MB

Fecha de entrega

Oct 11, 2024 1:32 PM GMT-5

Fecha del informe

Oct 11, 2024 1:37 PM GMT-5

● **11% de similitud general**

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

- 9% 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
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. ALBERTO VELARDE COAQUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - Puno

Dr. Germán Belizario Quispe
DOCENTE UNA PUNO

Resumen



DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres Senen Amanqui Mamani y Nilda Flores Velásquez. Este paso académico es un reflejo del esfuerzo y amor que me han brindado. Siendo esta tesis el tributo a la eterna admiración que siento por ustedes. Gracias por siempre creer en mí y alentarme a seguir adelante y gracias por ser los faros en mi vida, los amo profundamente.

A mis hermanos Jhaquelin, Erika y Roy, gracias por estar conmigo y motivarme siempre en salir adelante, los quiero mucho. Y a mis sobrinos Frank, André, Sebastián, Matheus y Thiago, que son la razón de mi superación.

A todos mis amigos y familiares que siempre me dieron sus palabras de aliento para culminar esta meta, sinceramente fueron ese rayito de sol en los días nublados. Gracias.

Luz D'Yanira Amanqui Flores



DEDICATORIA

A Dios, por cuidar de mi persona cada día y permitirme seguir adelante, guiándome por el buen camino, brindándome salud, como también sabiduría para poder culminar el presente trabajo de investigación.

A mis queridos padres Jaen Cruz y Ricardina Maraza, quienes me incentivan a superarme como profesional; apoyándome, aconsejándome y a pesar de los obstáculos que hayan acontecido, siguen impulsándome para continuar con mi carrera profesional.

A mi hermano Ivan Cruz, a mis familiares, amigos, por orientarme y ayudarme a lograr mis objetivos y metas.

A Luz D´Yanira, por jamás dejar de lado el presente trabajo de investigación.

Jerson Cruz Maraza



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno por permitir alcanzar una de nuestras metas, a lo largo de nuestra vida profesional; también a la Facultad de Ingeniería Agrícola por formarnos profesionalmente a través de su plana docente con amplia experiencia profesional.

A nuestro asesor de tesis, el D.Sc. German Belizario Quispe por su orientación profesional y sus aportes que nos encaminó en la ejecución del presente trabajo de investigación y la culminación de la tesis. Asimismo, como no agradecerle por el tiempo brindado, por su paciencia y comprensión.

A nuestros jurados: M.Sc. Esteban Moisés Vilca Pérez, M.Sc. Edgardo Sebastián Guerra Bueno y D.Sc. Efraín Lujano Laura por sus instrucciones brindadas y apoyo para la culminación de la presente investigación.

Luz D'Yanira Amanqui Flores

Jerson Cruz Maraza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
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. HIPÓTESIS	22
1.2.1. Hipótesis general	22
1.2.2. Hipótesis específicas	23
1.3. JUSTIFICACIÓN	23
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos específicos	25



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	26
2.1.1.	A nivel internacional	26
2.1.2.	A nivel nacional	29
2.1.3.	A nivel regional.....	31
2.2.	MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.	Cultivo de la zanahoria.....	32
2.2.1.1.	Clasificación taxonómica de la zanahoria.....	33
2.2.1.2.	Descripción botánica.....	33
2.2.1.3.	Condiciones agroclimáticas para la zanahoria	35
2.2.1.4.	Manejo del cultivo de la zanahoria (<i>Daucus carota</i>).....	36
2.2.2.	Cultivo de la beterraga	38
2.2.2.1.	Clasificación taxonómica de la beterraga	40
2.2.2.2.	Descripción botánica.....	41
2.2.2.3.	Condiciones agroclimáticas para la beterraga.....	42
2.2.2.4.	Manejo del cultivo de la beterraga (<i>Beta vulgaris</i>).....	42
2.2.3.	Requerimiento hídrico de los cultivos.....	43
2.2.3.1.	Evaporación	44
2.2.3.2.	Transpiración	45
2.2.3.3.	Evapotranspiración.....	46
2.2.3.3.1.	Evapotranspiración del cultivo real (ETc o ETR).....	48
2.2.3.3.2.	Evapotranspiración potencial o de referencia (ETo).....	49
2.2.4.	Métodos para la determinación de la Evapotranspiración	50
2.2.4.1.	Método directo para la determinación de la ETc	50



2.2.4.2. Métodos indirectos para la determinación de la ETo.....	52
2.2.5. Balance hídrico.....	55
2.2.6. Factores que influyen en la Evapotranspiración	56
2.2.6.1. Factor meteorológico	56
2.2.6.2. Factor suelo	57
2.2.7. Coeficiente de cultivo	58
2.2.7.1. Factores que determinan el Kc.....	59
2.2.7.2. Etapa fenológica del cultivo.....	61

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.1.1. Tipo de investigación	64
3.1.2. Diseño de la investigación	64
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	65
3.2.1. Ubicación política	65
3.2.2. Ubicación geográfica	65
3.2.3. Localización del terreno experimental (parcela).....	65
3.2.4. Caracterización climática del área de estudio	67
3.2.5. Fecha de inicio y termino	67
3.2.6. Historia del área experimental	67
3.2.7. Recopilacion de datos meteorologicos.....	67
3.2.8. Fuente hídrica (agua).....	68
3.2.9. Recurso suelo	68
3.2.9.1. Análisis textural	69
3.2.9.2. Análisis Químico.....	70



3.3. MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	72
3.3.1. Materiales	72
3.4. CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	74
3.4.1. Lisímetro de drenaje.....	74
3.4.2. Labores agrícolas	76
3.4.3. Sistema Arduino.....	80
3.5. METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO	81
3.5.1. Requerimiento hídrico por el método directo - lisímetros de drenaje.....	81
3.5.2. Evapotranspiración potencial (ET _o) – Métodos indirectos.....	84
3.5.2.1. Evapotranspiración potencial por el método del Tanque de evaporación	84
3.5.2.2. Evapotranspiración potencial por el método de la FAO – Penman-Monteith	85
3.5.3. Determinación del coeficiente del cultivo (K _c) para la obtención del requerimiento hídrico a mediante métodos indirectos	86
3.5.3.1. Coeficiente de cultivo (K _c).....	86
3.5.3.2. Requerimiento hídrico a partir de la ET _o obtenida por los métodos indirectos (tanque de evaporación – Penman Monteith).....	86
3.5.4. Comparación del requerimiento hídrico mediante los métodos: Lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y ecuación de la FAO Penman Monteith	87

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INFORMACIÓN DIARIA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	88
4.1.1. Condiciones meteorológicas	88



4.1.1.1. Humedad relativa (%)	88
4.1.1.2. Temperatura ambiente (°C).....	89
4.1.1.3. Radiación solar (W/m ²).....	90
4.1.1.4. Velocidad del viento (m/s).....	91
4.1.2. Precipitación (mm/día).....	92
4.2. REQUERIMIENTO HÍDRICO POR EL MÉTODO DIRECTO - LISÍMETROS DE DRENAJE	94
4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET_o) – MÉTODOS INDIRECTOS	96
4.3.1. Evapotranspiración Potencial (ET _o) por el método del Tanque de evaporación	96
4.3.2. Evapotranspiración Potencial (ET _o) por el método de la FAO Penman Monteith	97
4.3.3. Comparación de la Evapotranspiración Potencial (ET _o) por los métodos: Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith	99
4.4. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) Y REQUERIMIENTO HÍDRICO A PARTIR DE LA ET_o OBTENIDA POR LOS MÉTODOS INDIRECTOS	101
4.4.1. Determinación del coeficiente de cultivo (K _c)	101
4.4.2. Requerimiento hídrico por los métodos indirectos: Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith	103
4.4.2.1. Requerimiento hídrico - método del tanque de evaporación ..	104
4.4.2.2. Requerimiento hídrico - método de la FAO Penman Monteith	105



4.5. COMPARACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO OBTENIDO POR LOS MÉTODOS: LISÍMETROS DE DRENAJE, TANQUE DE EVAPORACIÓN Y LA ECUACIÓN DE LA FAO PENMAN MONTEITH	107
4.6. DISCUSIÓN	111
V. CONCLUSIONES.....	114
VI. RECOMENDACIONES	116
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS.....	124

Área : Ingeniería y Tecnología

Línea : Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de octubre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Información nutricional de la zanahoria cada 100 g	32
Tabla 2 Información de la absorción y extracción de la Beterraga (Beta vulgaris)..	39
Tabla 3 Información nutricional de beterraga cruda	40
Tabla 4 Caracterización de la textura del suelo	70
Tabla 5 Análisis químico del suelo	71
Tabla 6 Materiales y equipos para la preparación del área de estudio.....	72
Tabla 7 Materiales para la construcción de los lisímetros de drenaje.....	72
Tabla 8 Materiales para el acondicionamiento de la zona de recolección	73
Tabla 9 Materiales y equipos para el monitoreo	73
Tabla 10 Material biológico	73
Tabla 11 Material de escritorio	74
Tabla 12 Coeficiente del tanque de evaporación (Kp).....	85
Tabla 13 Requerimiento hídrico por el método directo	94
Tabla 14 Promedios mensuales de la evapotranspiración potencial (ETo) por dos métodos	99
Tabla 15 Resultados de la prueba "t" de Student de la Evapotranspiración Potencial (ETo) mediante dos métodos	101
Tabla 16 Coeficiente del cultivo (Kc).....	102
Tabla 17 Kc obtenido vs Kc propuesto por la FAO.....	103
Tabla 18 Requerimiento hídrico a partir de la ETo del método tanque de evaporación	105
Tabla 19 Requerimiento hídrico a partir de la ETo del método de la FAO Penman Monteith.....	106



Tabla 20	Requerimiento hídrico de la zanahoria por tres métodos.....	108
Tabla 21	Requerimiento hídrico de la beterraga por tres métodos	109
Tabla 22	ANOVA del requerimiento hídrico de la zanahoria por tres métodos.....	110
Tabla 23	ANOVA del requerimiento hídrico de la beterraga por tres métodos	110



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Morfología de la raíz de la zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	34
Figura 2 Diferentes sistemas de siembra del cultivo de zanahoria.....	37
Figura 3 Desarrollo del cultivo de la beterraga	42
Figura 4 Siembra a doble hilera de la beterraga.....	43
Figura 5 Representación gráfica de la evapotranspiración.....	47
Figura 6 Evapotranspiración	48
Figura 7 Modelo general del Lisímetro	52
Figura 8 Casos de localización del tanque de evaporación	53
Figura 9 Balance de agua en la zona radicular	55
Figura 10 Curva única de Hansen para el cálculo de los Kc	58
Figura 11 Procedimiento del coeficiente único del cultivo	62
Figura 12 Localización del área experimental	66
Figura 13 Ubicación de la extracción de la muestra de suelo	69
Figura 14 Perfil del lisímetro de drenaje	75
Figura 15 Pluviómetro tipo Hellmann.....	82
Figura 16 Representación gráfica de la Humedad Relativa (%) durante el desarrollo de la investigación	89
Figura 17 Variación de la Temperatura Ambiente (°C) durante el proceso investigativo	90
Figura 18 Registro de la Radiación Solar durante el proceso de investigación	91
Figura 19 Velocidad del viento durante el proceso de investigación.....	92
Figura 20 Registro de las precipitaciones diarias y riego.....	93



Figura 21 Comportamiento de la ETo mediante el método del tanque de evaporación	97
Figura 22 Comportamiento de la ETo según el método de la FAO Penman Monteith 98	
Figura 23 Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial (ETo) por dos métodos	100



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Resultado del análisis de suelo	125
ANEXO 2 Cálculos que se realizaron para la presente investigación.....	127
ANEXO 3 Datos meteorológicos registrados en la zona de investigación	133
ANEXO 4 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el método directo lisímetros de drenaje para el cultivo de la zanahoria.....	138
ANEXO 5 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el método directo lisímetros de drenaje para el cultivo de la beterraga.	144
ANEXO 6 Calculo de la evapotranspiración potencial (ETo) mediante el método tanque de evaporación	150
ANEXO 7 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) a partir de los métodos indirecto: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith para los cultivos de la zanahoria (<i>Daucus carota</i>) y beterraga (<i>Beta vulgaris</i>).....	155
ANEXO 8 Memoria fotográfica	161



ACRÓNIMOS

FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
ET:	Evapotranspiración.
ETc:	Evapotranspiración del cultivo.
ETo:	Evapotranspiración potencial.
Kc:	Coefficiente del cultivo.
Kp:	Coefficiente del tanque de evaporación.
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria.
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IDE:	Entorno de Desarrollo Integrado.
SENAHMI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
INACAL:	Instituto Nacional de Calidad.
DDS:	Días después de la siembra.



RESUMEN

El requerimiento hídrico para los cultivos en el distrito de Chucuito, es una incógnita frente a la gestión de recursos hídrico. La falta de información sobre el requerimiento hídrico de los cultivos hace que los pequeños productores utilicen de manera inapropiada el recurso hídrico, motivo que la presente investigación se realizó, con el objetivo de determinar el requerimiento hídrico de los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), mediante los métodos de lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith. Según la metodología planteada se estimó el requerimiento hídrico a partir información obtenida del uso de lisímetros de drenaje, la ETo se obtuvo por medio de los métodos indirectos con datos registrados por el Sistema Arduino y datos de campo; con los valores obtenidos del ETc y ETo se logró determinar el Kc a fin de determinar el requerimiento hídrico de los métodos indirectos. Los resultados del requerimiento hídrico mediante el método de lisímetros de drenaje y la ecuación de la FAO Penman Monteith muestra los mismos valores, siendo 304.09 mm para la zanahoria y 299.14 mm para la beterraga. Sin embargo, el requerimiento hídrico mediante el tanque de evaporación obtuvo 244.03 mm para la zanahoria y 240.01 mm para la beterraga, durante un periodo vegetativo de 120 días. Finalmente, se comparó el requerimiento hídrico obtenido por los tres métodos, mediante el análisis de varianza ANOVA, donde se muestra que el coeficiente F no supera al F crítico para cada cultivo, por lo que se acepta la hipótesis nula. Se concluye que el requerimiento hídrico por los tres métodos empleados no presenta diferencias significativas.

Palabras Clave: Coeficiente de cultivo, Evapotranspiración, Fases fenológicas, Lisímetro de drenaje y Requerimiento hídrico.



ABSTRACT

The water requirement for crops in the Chucuito district is an unknown in terms of water resource management. The lack of information on the water requirement of crops causes small farmers to use water resources inappropriately, which is why this research was conducted to determine the water requirement of carrot (*Daucus carota*) and beet (*Beta vulgaris*) crops, using the drainage lysimeter, evaporation tank and the FAO Penman Monteith equation. According to the methodology proposed, the water requirement was estimated from information obtained from the use of drainage lysimeters, ETo was obtained by indirect methods with data recorded by the Arduino System and field data; with the values obtained from ETc and ETo, the Kc was determined in order to determine the water requirement of the indirect methods. The results of the water requirement using the drainage lysimeter method and the FAO Penman Monteith equation show the same values, being 304.09 mm for carrot and 299.14 mm for beet. However, the water requirement using the evaporation tank obtained 244.03 mm for carrot and 240.01 mm for beet, during a vegetative period of 120 days. Finally, the water requirement obtained by the three methods was compared by ANOVA analysis of variance, which shows that the F coefficient does not exceed the critical F for each crop, so the null hypothesis is accepted. It is concluded that the water requirement by the three methods used does not show significant differences.

Keywords: Crop coefficient, Evapotranspiration, Phenological phases, Drainage lysimeter and Water requirement.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Determinar el requerimiento hídrico de los cultivos ha sido una de las preocupaciones en la planificación y ejecución, por ende, el conocimiento de los recursos hídricos y su gestión juega un papel importante, prestando atención en primer lugar la disponibilidad de agua; segundo, las necesidades de agua de los cultivos (Tarazona *et al.*, 2017), es por ello que se debe conocer la dotación de agua necesaria para los cultivos, teniendo en cuenta el conocimiento de la evapotranspiración (ET) el cual va acompañado paralelamente de los parámetros meteorológicos de la zona de investigación, es importante comprender que los factores climáticos influyen en el desarrollo fenológico de los cultivos.

Allen *et al.* (2006) indica que, en la agricultura cualquier iniciativa para promover el uso eficiente del agua debe basarse en cálculos precisos de evaporación, que se puede definir como una combinación de dos procesos separados que ocurren simultáneamente en la naturaleza; durante el cual el agua se mueve a través de la superficie del suelo de dos maneras: por pérdida de evaporación y transpiración del cultivo.

El sector agrario en el Perú abarca un gran número de la población nacional. Los productores agropecuarios representan el 7.1% de la población peruana, es decir que son 2 199 243 personas dedicadas a la actividad agropecuaria frente a los más de 30 814 175 habitantes del territorio nacional. A nivel regional, el número con mayores productores agropecuarios se encuentra en Cajamarca, Puno y Cusco (INEI, 2017). Por tal razón es necesario conocer la evapotranspiración y el requerimiento de agua para los cultivos,



teniendo en cuenta el periodo vegetativo y cuál es la etapa de más demanda de agua para una correcta planificación de riego (Canllahui, 2013).

Por lo que es necesario realizar estudios de requerimiento hídrico, teniendo en cuenta los parámetros meteorológicos y de acuerdo al estudio obtener información local apropiada, según características climatológicas del lugar de estudio. Así mismo, es importante determinar el coeficiente de cultivo (K_c) para las distintas fases fenológicas de los cultivos, el cual nos ayudara a tener una eficiente dotación de agua; cabe resaltar que existen datos referenciales proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estos datos están divididos en diferentes regiones climáticas a grandes rasgos y/o escalas, en ese entender se cuenta con datos exactos o cercanos sobre el coeficiente de cultivo (K_c). Así como también Zamata (2019) afirma que el coeficiente de cultivo (K_c), es un indicador crucial para el manejo, planificación y programación del riego, debe determinarse teniendo en cuenta el periodo de crecimiento de la planta. El requerimiento de agua varía de acuerdo a las fases y de la zona de estudio.

En ese sentido con esta investigación se dará a conocer el requerimiento hídrico de los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), para la producción sostenible de los agricultores del distrito de Chucuito. Los cultivos ya mencionados son unas de las principales hortalizas que se cultiva, destacadas por su composición nutricional ricas en proteínas y vitaminas por lo que se propone su producción. Contribuyendo a mejorar la eficiencia en la gestión y manejo del recurso hídrico desde la perspectiva del agricultor.



1.1.1. Enunciado del problema

1.1.1.1. Pregunta general

¿Cuál es el requerimiento hídrico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), mediante los métodos de lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith en el distrito de Chucuito?

1.1.1.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es el requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) mediante el uso de lisímetros de drenaje?
- ¿Cuál de los métodos del tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith es apropiado para la determinación del K_c ?
- ¿Cuál es el requerimiento hídrico a partir del K_c obtenido y la E_{To} obtenida de los métodos indirectos del tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith?
- ¿Cuál es la diferencia del requerimiento hídrico a partir de los métodos del lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

Es posible que obtengamos el requerimiento hídrico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) mediante los métodos de



lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith en el distrito de Chucuito.

1.2.2. Hipótesis específicas

- Con la aplicación de lisímetros de drenaje se podrá obtener el requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carta*) y beterraga (*Beta vulgaris*).
- Es posible que pueda existir una diferencia significativa al comparar la evapotranspiración potencial (ET_o) obtenida por diferentes métodos.
- Al determinar el coeficiente de cultivo (K_c), se podrá obtener el requerimiento hídrico a partir de la ET_o obtenida de los métodos indirectos: tanque de evaporación y ecuación de la FAO Penman Monteith.
- La comparación estadística del requerimiento hídrico a partir de los métodos: Lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith, determinara si existe diferencias significativas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El requerimiento hídrico de los cultivos se determina a partir del uso de diferentes métodos como: lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y métodos empíricos de la FAO que dependen de los parámetros meteorológicos de la parcela experimental. Pero la falta de información puede conllevar hacer un mal uso del recurso hídrico, subestimando la dosis de riego en los cultivos.

En la actualidad los productores de hortalizas del distrito de Chucuito no cuentan con información necesaria sobre el requerimiento hídrico de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), lo que desencadena un mal manejo y gestión del recurso



hídrico. Los pequeños productores no cuentan con un sistema de riego apropiado y otros solo dependen de las precipitaciones pluviales, lo que por la falta de información riegan sus cultivos de manera irracional. Por otra parte, a nivel de la provincia de Puno tampoco se cuenta con información sobre el coeficiente de cultivo (Kc), para los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Pero existen datos referenciales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, estos datos están divididos en regiones climáticas a grandes escalas, en ese sentido no se cuenta con un dato exacto o similar sobre los coeficientes de cultivo. Sin embargo, la FAO sugiere y recomienda una calibración local, es decir; estudios que nos permitirá acceder con exactitud al requerimiento hídrico.

En tal sentido y por las razones mencionadas, el presente trabajo de investigación busca obtener información sobre el requerimiento hídrico para la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) orientado a la sostenibilidad del recurso hídrico, teniendo en cuenta los parámetros meteorológicos y edafológicos propios la zona de estudio. Asimismo, responder a las necesidades locales y que sirva como guía para la determinación del Kc de otros cultivos en distintas localidades utilizando el mismo método, con ello se contribuirá a un manejo eficiente del recurso hídrico y se incentivara a brindar un buen manejo.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinación del requerimiento hídrico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) mediante los métodos de lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith en el distrito de Chucuito – Puno.



1.4.2. Objetivos específicos

- Calcular el requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) mediante el uso de lisímetros de drenaje.
- Estimar y comparar, la evapotranspiración potencial (ET_o) mediante los métodos: Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith.
- Determinar el coeficiente de cultivo (K_c) y calcular el requerimiento hídrico a partir de la ET_o obtenida mediante los métodos indirectos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith.
- Comparar el requerimiento hídrico obtenido por los métodos: Lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1.1. A nivel internacional

Ojeda *et al.* (2011) refiere que las alteraciones del ciclo hidrológico (principalmente evapotranspiración y precipitación) se dan debido a los efectos del cambio climático; es decir, que tendrán un impacto fundamental en las necesidades de riego y la gestión de los sistemas de riego. Las proyecciones del cambio climático indican aumentos en la temperatura ambiente que varían en el espacio y el tiempo. Esto se debe a que, aunque la evapotranspiración aumente, el mayor impacto del incremento de las temperaturas es el acortamiento del ciclo fenológico de los cultivos.

La evapotranspiración de cultivo (ET_c) se puede determinar a partir del uso de lisímetros es uno de los métodos directos para la determinación del requerimiento hídrico según Forero *et al.* (2015), indica que con el uso de lisímetros contempla el balance hídrico determinando en su estudio de investigación que las zanahorias requieren 105.88 mm de agua durante todo el ciclo de cultivo; el mayor consumo de agua se encuentra en la etapa de madurez, por lo que esta etapa es la más propensa a la escasez de agua y el periodo de crecimiento es el más bajo; durante la etapa de madurez, no se recomienda detener la frecuencia de riego.

Forero *et al.* (2015) indica que el coeficiente de cultivo (K_c) se determina mediante el método propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la



Alimentación y la Agricultura. De tal manera que se instalaron lisímetros para determinar el consumo de agua de los cultivos (ETc) y para la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) se obtuvo analizando datos climáticos a través de la estación meteorológica inalámbrica Ambiente Tiempo WS-2080 instalada in situ y analizándolos a través de la ecuación de Penman-Monteith con el apoyo del software Cropwat. En su artículo titulado “Requerimiento hídricos de la zanahoria (*D. carota L.*) durante tres etapas de su desarrollo” Colombia, después de la ejecución planteada para determinar el Kc concluyo que el coeficiente de cultivo para cada etapa fenológico es: etapa de crecimiento 0.14; etapa de elongación 0.29 y etapa de madurez 0.55.

Altamirano (2005) en su trabajo de investigación denominando “Evaluación de la Evapotranspiración del Cultivo de Beterraga (*Var. Dark Red Detroit*) en Camas Bajas Atemperadas en el Altiplano Central de Bolivia”, indica que la cantidad de evapotranspiración no disminuye a un aumento o disminución del número de plantas por unidad de cama baja, sino a una distancia adecuada entre plantas e hileras, que en este estudio fue de 15 cm (entre hileras) y 10 cm (entre plantas), obteniendo como resultado el riego neto para el cultivo de beterraga (*Var. Dark Red Detroit*) de 260mm. Según Pérez *et al.* (2012), indica que la remolacha azucarera (*Beta vulgaris L*) se caracteriza por ser halófilo, tolerante a sustratos salino-alcálicos. A los cultivos se les aplicaron dos tratamientos: convencional y agroecológico, obteniéndose muestras in situ a los 45, 60 y 120 días después de la siembra de las plántulas, respectivamente, el cual demuestra que el cultivo de remolacha azucarera tiene una tolerancia de 423 dS/m en condiciones salino-álcalis.



El coeficiente de cultivo (K_c) es un valor que combina las diferentes características de cada cultivo y los cambios que se produce durante el ciclo fenológico, por tal motivo Caguasango (2023) realizando su trabajo de investigación sobre el ciclo de cultivo de la remolacha (*B. vulgaris* L.) var. Boro, con relación al coeficiente de cultivo (K_c) llevándose a cabo en la provincia de Tungurahua – Ecuador desde el 18 de agosto del del 2022 hasta 10 de diciembre del 2022. Determinando el investigador que el coeficiente de cultivo (K_c) en la etapa inicial fue de 0.35 valor que se sostuvo durante los 21 días DDS, mientras que en la etapa de desarrollo y cosecha mediante interpolación de valores obtuvo un coeficiente de cultivo (K_c) de 1.20 durante 94 días después de finalizar la etapa inicial. Lo que concluye que, a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, el riego es esencial, sobre todo durante la germinación y las primeras fases de desarrollo de las plántulas. A la hora de planificar los riegos posteriores, conviene tener en cuenta las necesidades hídricas de los cultivos, lo que fluctúa en función de las temperaturas y el tipo de suelo en el que se cultiva

La evapotranspiración potencial (E_{To}) a partir de la ecuación Penman Monteith y la bandeja de evaporación clase A, muestran valores adecuados para proponer un sistema de riego tecnificado (Maldonado *et al.*, 2006), además menciona que los resultados obtenidos por ambos métodos utilizados no hubo diferencias, determinando la evapotranspiración del cultivo para la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) por el método de la evaporación de bandeja fue de 460 mm y por la ecuación de Penman Monteith de 565 mm. Lo que implica que la ecuación de Penman Monteith obtuvo mayores valores subestimando en un 22.3% a los valores obtenidos de la bandeja de evaporación clase A.



Las variables de riego, lluvias, percolación y variación de humedad en el suelo, son esenciales para determinar la evapotranspiración de cultivo, según Monge *et al.* (2022), indica que la FAO nos proporciona etapas del coeficiente de cultivo (Kc): inicial, desarrollo, medio y final. Sin embargo, en su trabajo de investigación determino que la evapotranspiración de cultivo (ETc) bajo condiciones hídricas óptimas mediante el uso de lisímetros de drenaje obtuvo como resultado 230 mm entre los meses de agosto a setiembre. De igual manera se determinó el coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo del banano en condiciones óptimas que fue de 1.12; lo que difiere con los valores recomendados por la FAO, reflejando que el Kc obtenido son menores en la costa ecuatoriana.

2.1.2. A nivel nacional

Tarazona (2017), señala que la transpiración de los cultivos aumenta a manera que se desarrollan los cultivos, siendo que cuando los cultivos llegan a desarrollar una cubierta vegetal total la evapotranspiración es la principal fuente de consumo de agua. Donde determino en su estudio de investigación obtuvo un ETc de 900.4 mm mediante el uso de lisímetros de drenaje durante 190 días desde el mes de mayo hasta octubre del 2016. Por otro lado, el coeficiente cultivo (Kc) de la quinua que se obtuvo en el trabajo de investigación de acuerdo a los valores obtenidos de la ETc entre la ETo; obteniendo el Kc inicial de 0.5, Kc de desarrollo de 0.7, Kc medio de 1.2 y Kc final de 0.7. concluyendo que el coeficiente de cultivo (Kc) de la quinua obtenidos siguen un mismo patrón de desenvolvimiento propuesto por la FAO.

Villanueva (2019), evaluó el uso consuntivo del agua para el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en donde determino que la evapotranspiración promedio



del cultivo en investigación fue de 2.35 mm/día, obteniendo los resultados mediante el uso de lisímetros de drenaje en el área de estudio, acumulando un tanto de 343 mm durante todo el periodo fenológico (146 días). Los valores que se obtuvo en dicha investigación son de acuerdo al proceso vegetativo, teniendo niveles máximos en la etapa de floración con 2.00 y 3.63 mm/día, tomando en cuenta la ecuación de la FAO Penman-Monteith comparados con los antecedentes arroja buenos resultados.

Zamata (2019), evaluó la evapotranspiración de cultivo real (ET_c) mediante el uso de tensiómetro y sensor watermark, obteniendo como resultado 110.68 mm y 113.40 mm de requerimiento hídrico del cultivo de la papa durante un periodo vegetativo de 105 días y la evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio fue de 1.45 mm/día obteniendo mediante el uso del tanque tipo A y la fórmula de la FAO Penman Monteith a partir de datos meteorológicos de la zona. Determinando el coeficiente de cultivo (K_c) para sus diferentes fases fenológicas, siendo la fase inicial de bajo requerimiento del agua K_c = 0.5, posteriormente aumentando el valor de la K_c = 0.66 en la fase de desarrollo, llegando a la fase de medios con un K_c = 1.18 y una fase final de K_c = 0.8, cuyos resultados obtenidos fueron bajo las condiciones de suelo y clima de La Molina – Lima, siendo el uso de lisímetro de drenaje de mayor confiabilidad ya que proporciona información directa sobre la cantidad total de agua requerida, suelo, plantas y atmósfera. Lo que coincide con Quispe *et al.* (2020) en la ejecución del estudio de investigación determinaron que la curva de uso consuntivo K_c, por el método lisimétrico, el mismo que representa el requerimiento real del agua para el cultivo de la papa, por lo que la aplicación de este método permite un mejor manejo del agua de riego



en este y otros cultivos. El autor también señala que se comprobó que el uso de lisímetros garantiza precisión y confiabilidad.

2.1.3. A nivel regional

Chirinos (2017), indica que la aplicación de dosis de riego tuvo impacto directo sobre el consumo eficiente del agua; de tal manera deduce que la dosis de riego superior al 50% de la evapotranspiración del cultivo tiene un efecto directo en el consumo de agua del ecotipo local de quinua.

Canllahui (2013), evaluó la evapotranspiración obtenida para el cultivo de papa, la cual corresponde a 610.76 mm de la capa de agua (6107.6 m³/ha), teniendo en cuenta que en la fase fenólica el consumo mayor de agua se registra al final de la floración, es decir, que la capa de agua 157.73 mm, iniciando la formación del tubérculo obteniendo un registro de 90.45 mm de capa de agua, por lo que se deduce que el cultivo tiene mayor necesidad de incorporación de agua en esta fase, por lo que produce la evaporación y los procesos de transpiración son más intensos; mientras que se observa un consumo menor de agua en la fase de la madurez fisiológica con una capa de agua 47.14 mm.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Cultivo de la zanahoria

Una de las raíces más consumidas en el mundo es sin duda la zanahoria, la cual representa la planta de raíz más consumida en el mundo y pertenece a la familia apiaceae, esta especie se ha diversificado en diferentes culturas y tiene múltiples usos en la nutrición humana. Su procesamiento es relativamente sencillo y su rendimiento por unidad de superficie es alto; estas propiedades han llevado a que se le considere un alimento importante en la dieta humana. Asimismo, es muy utilizado en medicina por su contenido en vitamina A, importante para la visión. Destaca entre más de 2.500 especies por las sustancias aromáticas y aceites esenciales que contiene; la producción de zanahoria ha experimentado un aumento muy significativo tanto en superficie como en producción en los últimos años y su relevancia aumenta constantemente por su valor sensorial y nutricional (Suasnabar y Torres, 2022).

Tabla 1

Información nutricional de la zanahoria cada 100 g

Componente	Contenido	Componente	Contenido
Calcio (Ca)	27.24 mg	Fósforo (P)	19.0 mg
Fierro (Fe)	0.47 mg	B1 vitamina	0.06 µg
Yodo (I)	6.53 mg	B2 riboflavina	0.05 µg
Magnesio (Mg)	11.24 mg	B6 piridoxina	0.14 µg
Zinc (Zn)	0.28 mg	Ácido fólico	13.93 µg
Selenio (Se)	1.3 µg	C ácido ascórbico	6.48 µg
Sodio (Na)	61.0 mg	Carotenoides (eq. A β-carotenos)	8 731.0 µg
Potasio (K)	310.0 mg	A (eq. A retinol)	11 455.17 µg

Fuente: Saavedra y Kehr (2019).



2.2.1.1. Clasificación taxonómica de la zanahoria

Según Suasnabar y Torres (2022) la clasificación taxonómica de la zanahoria es:

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Orden	: <i>Apiales</i>
Familia	: <i>Apiaceae</i>
Género	: <i>Daucus</i>
Especie	: <i>Daucus carota</i>
Nombre común	: Zanahoria
Nombre científico	: <i>Daucus carota</i>

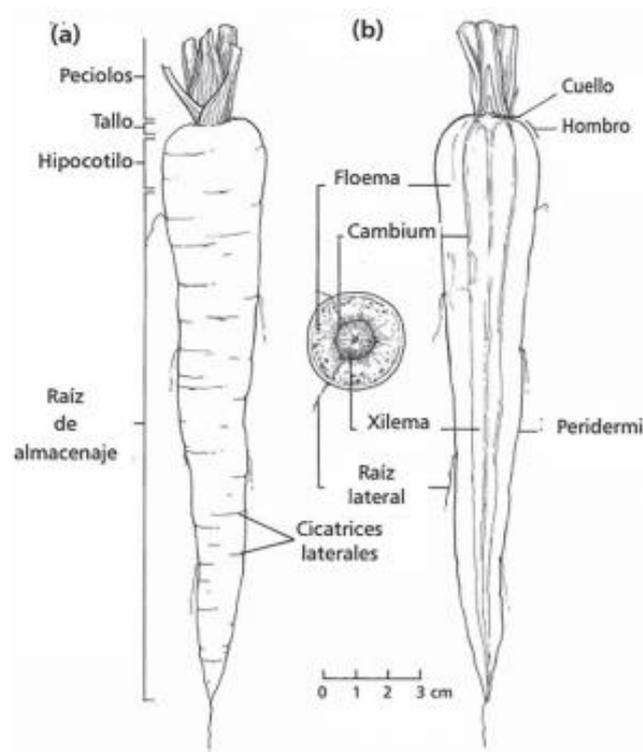
2.2.1.2. Descripción botánica

La zanahoria tiene una porción ensanchada de la raíz corresponde a una porción del hipocótilo; además, se observaron raíces secundarias y pelos absorbentes para extraer nutrientes del suelo. Después de que las semillas germinan, la raíz pivotante crece rápidamente, alcanzando el tamaño máximo específico de la variedad (que oscila entre 5 y 30 cm), que se alcanza entre 55 y 60 días después de la siembra. Anatómicamente, consta de floema (exterior) y xilema (medio). Las zanahorias de alta calidad tienen un mayor contenido en floema, donde se encuentra la mayor

acumulación de azúcares y carotenos, y el menor xilema o parte central. El color de las raíces puede ser naranja, rojo, amarillo o morado debido a los pigmentos característicos de la variedad. Las zanahorias naranjas contienen más betacaroteno, las zanahorias rojas contienen licopeno, las zanahorias amarillas contienen luteína, las zanahorias moradas contienen antocianinas y las zanahorias blancas no contienen ningún pigmento (Suasnabar y Torres, 2022).

Figura 1

Morfología de la raíz de la zanahoria (Daucus carota)



Nota. Anatomía de la zanahoria vista longitudinal (a) y vista transversal (b).

Fuente: Saavedra y Kehr (2019).

Las flores son hermafroditas, pequeñas, blancas o blanquecinas con color violeta o verde. La flor tiene 05 pequeños sépalos verdes, 05 pétalos,



05 estambres (órganos masculinos para la polinización) y un ovario. La floración de la zanahoria dura de 30 a 50 días (Suasnabar y Torres, 2022).

2.2.1.3. Condiciones agroclimáticas para la zanahoria

De acuerdo a Suasnabar y Torres, (2022) menciona que, el cultivo de la zanahoria se acondiciona a altitudes entre 500 a 3450 m.s.n.m. donde se consideran un cultivo que prefiere climas templados. Este tipo de clima templado se caracteriza por temperaturas inferiores a 18°C y superiores a -3°C en los meses más fríos y superiores a 10°C en los meses más cálidos. El cultivo de la zanahoria tiene propiedades que puede aguantar temperaturas muy bajas (heladas).

La germinación es lenta y desigual debido a los distintos grados de madurez del embrión, afectado por la ubicación de la flor en la pantalla. La humedad y la temperatura son cruciales para la germinación de las semillas. La temperatura óptima para el crecimiento de las zanahorias es de 18 a 24 °C y se requieren 15 a 20°C para la germinación de las semillas. Las temperaturas inferiores a 12°C provocarán una floración temprana; si la temperatura es alta, las raíces envejecen rápidamente, se vuelven más pequeñas y más cortas; también perderán su color único y producirán raíces amargas no comerciales (Suasnabar y Torres, 2022).

De acuerdo a Rosamel (2019), el cultivo de zanahoria se adapta a cualquier terreno, excepto los lugares rocosos, es muy fácil de cultivar, la zanahoria sólo necesita tierra bien preparada, sin piedras. El cultivo de la zanahoria requiere un terreno bien preparado para ser enterrada y pueda



crecer cómodamente, cubierta con abono (fertilizante de origen natural). La humedad excesiva del suelo puede provocar la decoloración de las raíces, afectar la longitud y la forma y aumentar la cantidad y el tamaño de las raíces fibrosas finas.

2.2.1.4. Manejo del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*)

a. Preparación del terreno

Suasnabar y Torres (2022) mencionan que, para favorecer una buena germinación de las semillas del zanahoria y posteriormente desarrollo de las plántulas, el suelo debe estar trabajado, lo que significa que el suelo esté libre de piedras, aireado, esponjoso y con una buena nivelación. Las características ya mencionadas se logran a través de un arado profundo, mediante yugos y/o trabajo de maquinaria agrícola para dejar la tierra suelta y libres de terrones, posteriormente se procede al surcado para la siembra del cultivo.

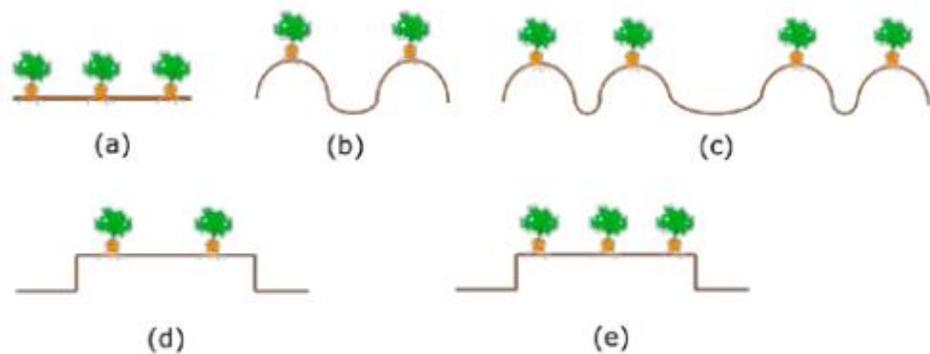
b. Siembra del cultivo

Según Suasnabar y Torres (2022) indica que, se debe tener cuidado al momento de esparcir las semillas de la zanahoria en el suelo para mantener una buena densidad y tener un correcto desarrollo de las raíces. La siembra de la zanahoria se puede realizar durante todo el año; las semillas de la zanahoria germinaran entre 10 a 15 días después de la siembra.

- La siembra mediante surcos es un sistema de siembra que airea y drena el suelo, favoreciendo el pleno crecimiento de la zanahoria. La altura del surco suele ser de 30 cm.
- La siembra mediante melgas es un sistema que consiste en preparar camas considerando un ancho máximo de tres metros y la longitud variable, dependiendo del área de las parcelas. Los bordes de las melgas deben oscilar entre 20 a 30 cm de alto.

Figura 2

Diferentes sistemas de siembra del cultivo de zanahoria



Nota. Los diferentes sistemas de siembra de la zanahoria (a) hileras, (b) camellones simples, (c) camellones dobles, (d) y (e) en mesas.

Fuente: Saavedra y Kehr (2019).

c. Método de siembra

Suasnabar y Torres (2022) indican que, la siembra directa, se trata de colocar las semillas directamente al suelo en su ubicación determinada; es decir, donde crecerá el cultivo de la zanahoria y desarrollará su etapa fenológica.



d. Tipos de siembra

- La siembra al voleo, es un método de siembra directa en el que las semillas de la zanahoria se esparcen uniformemente sobre la superficie trabajada y luego se entierran.
- La siembra por precisión, se realiza de forma mecánica (maquinaria agrícola) y tiene como ventaja la reducción de tiempo de trabajo. Por otro lado, va de la mano con un gasto económico, ya que la maquinaria debe calibrarse para determinar la profundidad de la siembra.

2.2.2. Cultivo de la beterraga

El cultivo de la beterraga, es similar al cultivo de la acelga, espinaca y remolacha azucarera, los cuales pertenecen a la familia *Chenopodiaceae*. La beterraga se ha cultivado y modificado genéticamente durante todo el tiempo transcurrido, pero solo en los últimos años se utilizaron las raíces hinchadas que hoy se conoce. Los orígenes de la beterraga están relacionados con la remolacha marina y a la acelga marina, este se originó en el norte de África y cultivándose hace 4.000 años. Posteriormente se desarrollaron la acelga con fructuoso follaje y beterragas con raíces sustanciosas. La población de la costa mediterránea usaba las hojas de ambos cultivos para el consumo humano, mientras que la beterraga se utilizaba como unguento para dolores dentales y la migraña (Saavedra y Kehr 2022).

Las beterragas son redondas o ligeramente planas y de color rojo oscuro, siendo algunas variedades de color más claro. También presenta anillos concéntricos bien definidos. Los tallos quedan de color muy oscuro y forman lo



que se llama la corona de la planta, de la que crecen un conjunto de hojas anchas formando dicha corona. A medida que la planta se acerca a la madurez, las hojas suelen adquirir un color que va del rojo al morado y por otro lado puede ser a causa que le cultivo no se encuentra en buenas condiciones. Es una verdura bienal que florece y produce semillas en el segundo año (Giraldo *et al.*, 1986).

En América Latina, incluido el Perú, se produce remolacha azucarera o beterraga comestible. En 1994, la superficie de siembra de beterraga en el país alcanzó las 752 hectáreas, y la producción se concentra en la zona sur (Arequipa), la costa central (Lima) y las zonas sierra del norte (Cajamarca). Es un cultivo relativamente importante con poca investigación y poca información técnica, y el propósito de este trabajo es reportar lineamientos básicos para su producción comercial (INIA, 2004).

Tabla 2

Información de la absorción y extracción de la Beterraga (Beta vulgaris)

Nutrientes	Absorción total (kg/t)	Extracción de cosecha (kg/t)
Nitrógeno (N)	6.0	3.5
Fósforo (P)	0.7	0.4
Potasio (K)	8.5	3.5
Calcio (Ca)	1.9	-
Magnesio (Mg)	1.2	0.6

Fuente: Ciampitti y García (2007).

Tabla 3

Información nutricional de beterraga cruda

Beterraga cruda	100 g.
Energía (Kcal)	43
Proteínas (g)	1.6
Grasa total (g)	0.2
Hidratos de carbono disponibles (g)	6.8
Fibra dietética total (g)	2.8
Sodio (mg)	78
Potasio (mg)	325
Vitamina A (μ ER)	2
Vitamina C (mg)	4.9
Vitamina E (mg ET)	0
Ac. Fólico (μ g)	109
Calcio (mg)	16
Hierro (mg)	0.8

Fuente: Saavedra y Kehr (2022).

2.2.2.1. Clasificación taxonómica de la beterraga

Según García *et al.* (2017) la clasificación taxonómica de la beterraga es:

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Orden	: <i>Caryophyllales</i>
Familia	: <i>Chenopodiaceae</i>
Género	: <i>Beta</i>
Especie	: <i>Beta vulgaris</i>



Nombre común : Beterraga/Remolacha

Nombre científico : *Beta vulgaris*

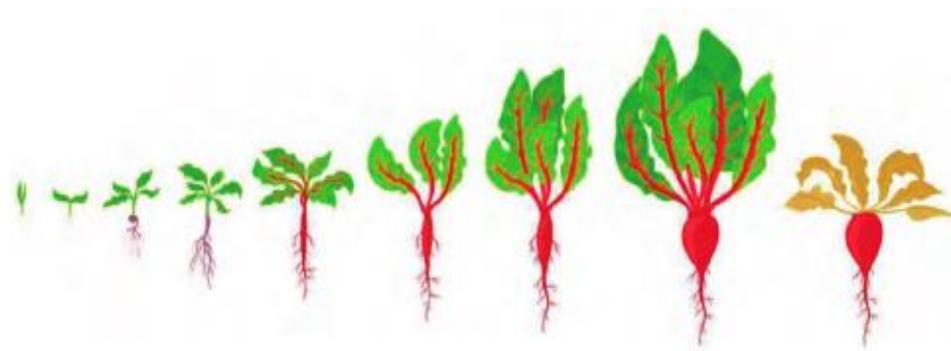
2.2.2.2. Descripción botánica

La beterraga se adapta a los diferentes climas del país, pero la temperatura óptima para obtener una buena cosecha de beterraga es de tres y los dieciséis grados centígrados, con una tolerancia máxima hasta de veinticuatro grados centígrados. El cultivo prefiere un clima suave y húmedo, aunque se adapta bien a otras condiciones. La calidad del crecimiento es mejor en épocas frías, la temperatura óptima de germinación ronda los 15°C y el tiempo de germinación es de unos 15 días. Como la mayoría de los cultivos que se cultivan para enraizar, prefiere suelos de consistencia media, no empapados. En suelos arenosos la precocidad es mayor; en casos pesados, las raíces se deformarán, encareciendo la tarea de cultivo. El pH más favorable está entre 7.0 y 7.5. Es una planta tolerante a la salinidad (Saavedra y Kehr, 2022).

Al tratarse el cultivo de la beterraga se basa directamente a la raíz, aunque el cultivo haya alcanzado la madurez necesaria, se puede conservar en el suelo un tiempo antes de cosechar.

Figura 3

Desarrollo del cultivo de la beterraga



Fuente: Dreamstime (2022).

2.2.2.3. Condiciones agroclimáticas para la beterraga

El cultivo de la beterraga por lo general prefiere un clima suave y húmedo, aunque se adapta bien a distintas condiciones climáticas. La calidad durante el periodo de crecimiento del cultivo es mejor en épocas frías, la temperatura óptima de germinación se encuentra entre los 15°C y respecto al tiempo de germinación es aproximadamente de 15 días. En los suelos arenosos la precocidad es mayor; por otro lado, si nos encontramos con un tipo de suelo pesado, consecuentemente se produciría deformaciones en el producto. El pH más favorable se encuentra entre 7.0 y 7.5. Siendo así un cultivo tolerante a la sal y los álcalis (Saavedra y Kehr, 2022).

2.2.2.4. Manejo del cultivo de la beterraga (*Beta vulgaris*)

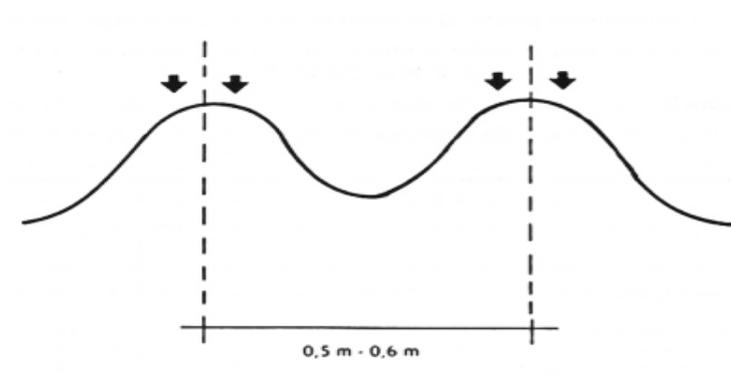
a. Siembra del cultivo

De acuerdo a Giraldo y Henao (1986) menciona que la beterraga es un cultivo que tiene dos sistemas de siembra; la directa y por trasplante. Siendo la siembra directa la más utilizada.

- Siembra en surcos transversales, en este tipo de siembra los surcos son separados cada 30 cm. Donde al incorporar la semilla en el suelo se debe depositar a 2 cm de profundidad. Y la distancia entre planta es de 12 cm.
- Siembra en surcos longitudinales, en este tipo de siembra a lo largo de los surcos las plantas son separadas a 30 cm. De igual manera la semilla se deposita al terreno a 2 cm de profundidad.
- Siembra a doble hilera, en este tipo de siembra las hileras deben estar separadas entre 50 y 60 cm, mientras que la distancia entre las plantas es de 10 cm.

Figura 4

Siembra a doble hilera de la beterraga



Fuente: INIA (2004).

2.2.3. Requerimiento hídrico de los cultivos

El requerimiento de agua varía de acuerdo al tipo de cultivo, a lo largo del desarrollo fenológico, siendo necesaria su conocimiento para un manejo integral entre la oferta del recurso hídrico y la demanda del cultivo (Della *et al*, 2000). Los cultivos tienen varios periodos críticos por la falta de agua. La primera es cuando las plantas germinan y emergen, la cama donde se instalarán los cultivos debe



tener la humedad suficiente para completar estos dos procesos. El segundo periodo corresponde a una mayor demanda de agua, esto sucede cuando el cultivo tiene la máxima cantidad de cobertura foliar y los azúcares se transfieren a las raíces (INIA, 2004).

Es esencial contar con agua suficiente y constantemente disponible durante la temporada de crecimiento para tener un sistema de raíces bien establecidos con una superficie suave y lisa. Los cambios repentinos en la humedad del suelo pueden aumentar la división de las raíces especialmente durante la temporada de cosecha. Esta división de raíces ocurre cuando hay un exceso de riego repentino durante los periodos de sequía, en el momento que se incorpora en grandes cantidades el agua al suelo seco, las plantas absorben grandes cantidades de agua y debido a su expansión, se produce una explosión en los tejidos, abriéndose la raíz. Es por ello que es recomendable que la humedad del suelo debe acercarse a la capacidad de campo durante el desarrollo del cultivo de la zanahoria; el nivel ideal de la incorporación de agua al suelo es de 125 mm/m, y la profundidad mínima del agua subterránea es de 75 a 90 cm (Saavedra y Kehr, 2019).

Para un riego de manera eficaz se debe incorporar agua al terreno del cultivo en el momento y cantidad que requiere el cultivo. Debe evitarse una inversión excesiva o insuficiente, que dé lugar a una reducción de producción. Por lo tanto, es muy importante comprender las necesidades hídricas de los cultivos (Castañon, 2000).

2.2.3.1. Evaporación

Este es el proceso físico por el cual el agua cambia de líquido a gas. La evaporación es una fase del ciclo del agua que se ve afectada por una



serie de factores diferentes. Estos incluyen: temperatura, humedad relativa, radiación solar, composición del suelo y más (Vásquez, 2017).

La divergencia entre la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos que se encuentran entre los cultivos de campo y los cultivos de referencia se incluyen en los coeficientes de rendimiento. Los valores del K_c de los cultivos cubren completamente el suelo reflejan principalmente diferencias en la transpiración porque se produce relativamente poca evaporación en el suelo. Después de la lluvia o la dosis de riego, cuando el cultivo es pequeño y apenas da sombra al suelo, domina el efecto de la evaporación. Bajo estas condiciones de cobertura baja, el factor K_c está determinado principalmente por la frecuencia de humectación de la superficie del suelo. Si el suelo este húmedo la mayor parte del tiempo debido al riego o la lluvia, la evaporación del suelo es alta y el valor de K_c puede exceder a 1 (FAO, 2006).

2.2.3.2. Transpiración

Es el fenómeno físico del agua en estado de vapor de agua moviéndose desde el mesófilo de las plantas hacia la atmósfera. Es decir, el transcurso del agua de la planta a la atmósfera se produce mediante las estomas de la planta y otras células epidérmicas que va a través de la cutícula de la planta. Esto puede percibirse como una pérdida de agua del tejido vegetal, pero estrictamente hablando no lo es, ya que también tiene un efecto refrescante sobre la planta. Las estomas, aunque son la principal vía de escape del agua de las plantas hacia el exterior, también se utilizan para la entrada de CO_2 y la salida de O_2 (Vásquez, 2017).



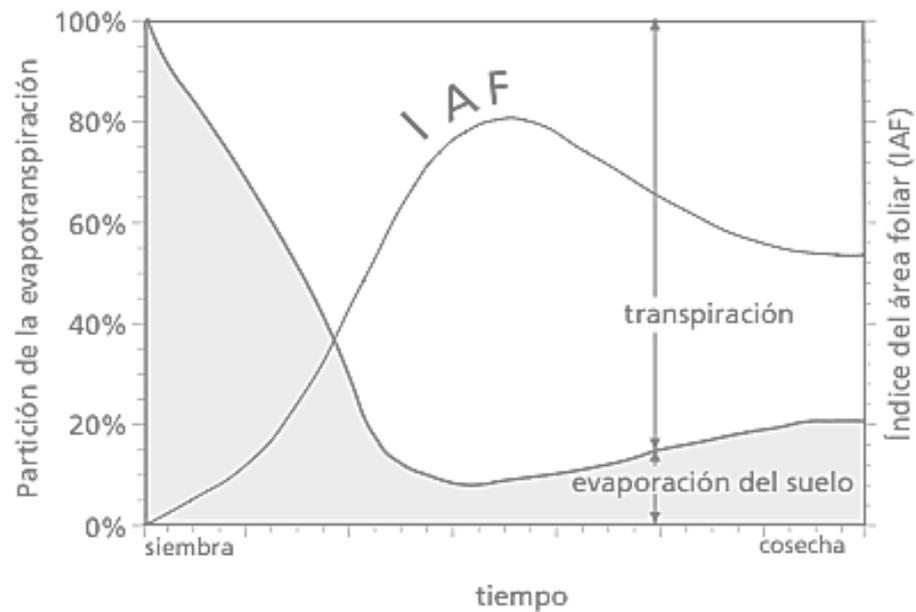
La transpiración implica la evaporación del agua líquida en tejidos vegetales y su posterior liberación a la atmósfera. Las plantas pierden agua principalmente a través de las estomas. Estas son pequeñas aberturas en las hojas de las plantas a través de las cuales los gases de las plantas y el vapor de agua escapan a la atmósfera. El agua y algunos nutrientes son absorbidos por las raíces y transportados a través de la planta. La evaporación ocurre en los espacios intercelulares dentro de la hoja y el intercambio de vapor con la atmósfera está controlado por las aberturas de las estomas. Casi toda el agua captada del suelo se pierde por transpiración y solo a una pequeña parte pasa a formar parte de los tejidos vegetales (FAO, 2006).

2.2.3.3. Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración ocurre simultáneamente y no es fácil distinguir entre estos dos procesos. Además de la disponibilidad de agua en la capa superficial, la evaporación del suelo cultivado depende principalmente de la proporción de radiación solar que alcanza la superficie del suelo. Durante la fase inicial de crecimiento del cultivo, el agua se pierde principalmente a través de la evaporación directa del suelo, pero a medida que el cultivo crece y se desarrolla, eventualmente el suelo se cubrirá por completo y la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2006).

Figura 5

Representación gráfica de la evapotranspiración



Fuente: Allen *et al.* (2006).

La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua fluye hacia la atmósfera a través de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Es complejo porque no solo se trata de la influencia de los factores climáticos para la evapotranspiración, sino también se tiene muy presente las características morfológicas y fisiológicas del suelo. La evapotranspiración es el proceso combinado de la evaporación y transpiración, durante el desarrollo del cultivo; existe una fase crítica durante la cual las plantas tienen una alta demanda del recurso hídrico, o en caso contrario, depende del desarrollo de cada cultivo lográndose una buena productividad y calidad de la cosecha (Vásquez, 2017).

Figura 6

Evapotranspiración



También se representa la cantidad de agua que emiten las plantas a la atmósfera en forma de vapor de agua mediante el proceso de transpiración más la cantidad de agua que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo (Vásquez, 2017). Por lo que se puede deducir que la evapotranspiración representa la pérdida del volumen de agua del manto vegetal, este se reduce mediante la evaporación durante un periodo de tiempo designado.

2.2.3.3.1. Evapotranspiración del cultivo real (ET_c o ETR)

La evapotranspiración del cultivo real ocurre independientemente de las condiciones de la planta y el suelo. También se define como el consumo real de agua del cultivo. Los factores que suelen afectar a la evapotranspiración real son: la variabilidad climática, características



genéticas del cultivo, humedad del suelo, edafología, la fase vegetativa del cultivo (Vásquez, 2017).

La cantidad del recurso hídrico necesario para equilibrar las pérdidas por la evapotranspiración del cultivo real se define como la demanda de agua de los cultivos. Aunque los niveles de evapotranspiración del cultivo real y el requerimiento hídrico de los cultivos son los mismos, sus conceptos difieren. La demanda de agua de los cultivos se refiere a la cantidad del volumen de agua que se suministra a los cultivos mediante riego o lluvia, mientras que la evapotranspiración del cultivo real es la pérdida de agua por la evapotranspiración. Los requisitos de riego reflejan esencialmente la diferencia entre el requerimiento hídrico de los cultivos y las lluvias efectivas (FAO, 2006).

$$ET_c = ETo * Kc$$

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día

ETo = Evapotranspiración de referencia, en mm/día

Kc = Coeficiente de cultivo

La evapotranspiración de cultivo real se determina de acuerdo a las características del cultivo, inicio de trabajos agrícolas (siembra), duración de la fase fenológica, meteorología y riego (Roncalla, 2018).

2.2.3.3.2. Evapotranspiración potencial o de referencia (ETo)

Utilizando la correlación entre la evapotranspiración potencial o de referencia y los datos de las estaciones climáticas, teniendo en cuenta su ubicación del área de estudio (latitud y longitud), se ha desarrollado



fórmulas para estimar la evapotranspiración potencial o referencial a partir de información meteorológica (Hargreaves) y las fórmulas tradicionales (Blanney, Penman, Tanque evaporímetro) se ajustaron para que se puedan utilizar el K_c , con cualquier método señalados (Valverde, 2000).

Una definición que encontramos dada por Vásquez (2017) “Ocurre en cultivos de pequeño tamaño (generalmente en pasto) que cubren toda la superficie del suelo, están creciendo activamente y tienen un suministro de agua adecuado y continuo”.

Los diferentes datos que se obtienen de la evapotranspiración potencial E_{To} , se rigen a las zonas de estudio, es decir; se basa a las condiciones meteorológicas de las zonas ya se encuentren en zonas altas y zonas bajas.

2.2.4. Métodos para la determinación de la Evapotranspiración

2.2.4.1. Método directo para la determinación de la E_{Tc}

De acuerdo a Valverde (2000), los métodos directos se basan en determinar el balance hídrico mediante la medición se obtiene los valores antes y después de cada riego. De esta forma se conoce el consumo de agua para cada cultivo en todo el proceso fenológico, hasta alcanzar el consumo total de agua mediante la sumatoria de todo el ciclo del cultivo.

a. Método de lisímetro

Al aislar la zona de raíces del cultivo y controlar procesos difíciles de medir, los términos de la ecuación de humedad del suelo pueden determinar con alta precisión. Esto se hace en lisímetros, que son tanques



aislados llenos de suelo alterado o no perturbado para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. [...] En un lisímetro de drenaje la evaporación se mide durante un periodo de tiempo restando el drenaje recolectado en el fondo del lisímetro de la cantidad total de agua entrante (FAO, 2006).

Existen muchos tipos de lisímetros, la ventaja de utilizarlos es que pueden obtener directamente datos de evapotranspiración en poco tiempo, pero el costo es elevado y un tanto difícil reconstruir las condiciones originales del suelo en el tanque. Además, el lisímetro de drenaje debe estar dentro de la parcela del cultivo (Valverde, 2000).

El método del lisímetro de drenaje brinda una mayor precisión para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo.

$$\mathbf{ETc = Da - Dd}$$

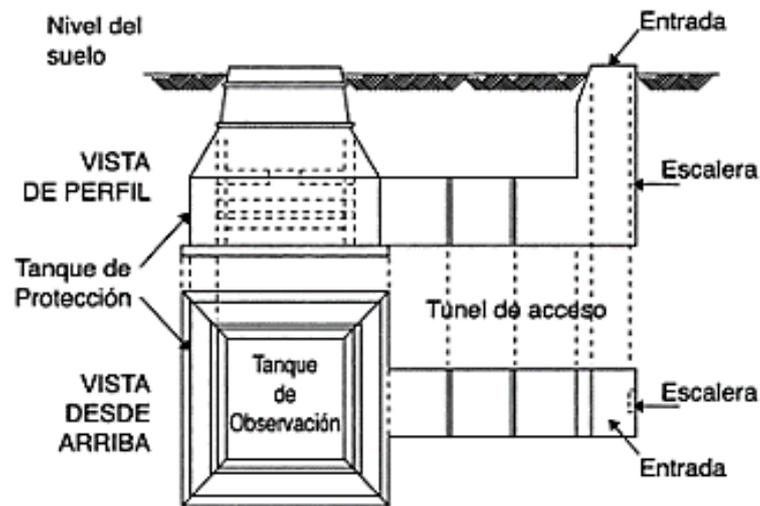
ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Da = Cantidad de agua aplicada (mm)

Dd = Cantidad de agua drenada (mm)

Figura 7

Modelo general del Lisímetro



Fuente: Peña (1974).

2.2.4.2. Métodos indirectos para la determinación de la ETo

a. Método del tanque de evaporación

Las diferencias entre el agua y las superficies de labranza pueden generar diferencias significativas en la pérdida de agua entre el agua libre y las superficies de labranza. El tanque ha demostrado ser útil y se ha utilizado con éxito para estimar las tasas de evaporación inicial mediante la observación de las pérdidas por evaporación en la superficie del tanque con la ETo (FAO, 2006).

$$E_{To} = K_p * E_o$$

$$E_{To} = \text{Evapotranspiración potencial} \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

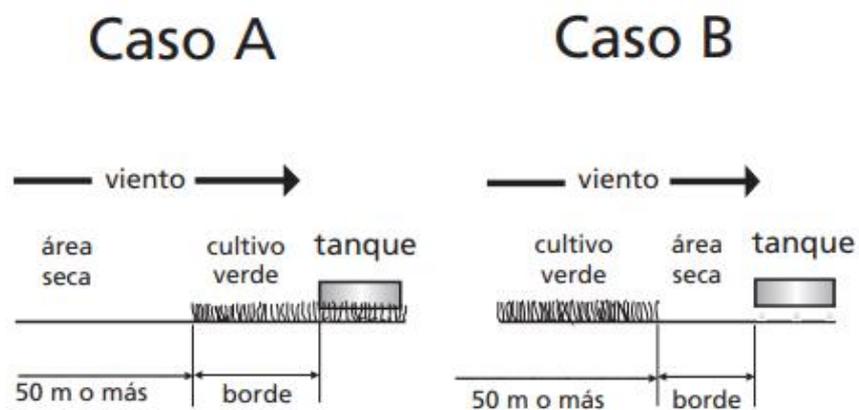
$$E_o = \text{Evaporación libre de tanque} \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

K_p = Coeficiente del tanque de evaporación

Para seleccionar el K_p apropiado para un tanque de evaporación en particular, se debe tener en cuenta no solo el tipo de tanque, sino también la cobertura vegetal en el que se va instalar el tanque, el entorno circundante, el viento y condiciones de la humedad. Este último es especialmente cierto cuando el tanque está ubicado en un lugar cultivado, con base en las características, se suelen considerar dos casos: Caso A, donde el tanque evaporación está ubicado en un área corta de la cobertura vegetal y está rodeado del barbecho; Caso B, donde el tanque de evaporación se encuentra en el barbecho y rodeado de la vegetación (FAO, 2006).

Figura 8

Casos de localización del tanque de evaporación



Fuente: (FAO, 2006).

b. Ecuación de la FAO Penman Monteith

La ecuación FAO Penman-Monteith representa de forma clara, precisa y sencilla los factores físicos y fisiológicos que controlan el proceso de evapotranspiración. Utilizando la definición de E_{To} en la que se basa la ecuación FAO Penman-Monteith, el factor de cultivo se puede



determinar dividiendo la evapotranspiración del cultivo con la evapotranspiración potencial (ET_o) calculada, es decir; $K_c = ET_c/ET_o$ (FAO, 2006).

Se reconoce como el más preciso porque proporciona cálculos muy precisos en diversas condiciones y se acerca más a los resultados obtenidos al medir la humedad con un lisímetro de drenaje (Valverde, 2000).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

ET_o = evapotranspiración de referencia $\frac{mm}{dia}$

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo $\left(\frac{MJ}{m \cdot dia}\right)$

R_a = radiación extraterrestre $\frac{mm}{dia}$

G = flujo del calor de suelo $\left(\frac{MJ}{m^2 \cdot dia}\right)$

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura $\left(\frac{m}{s}\right)$

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

e_s - e_a = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor $\left(\frac{kPa}{°C}\right)$

γ = constante psicrométrica $\left(\frac{kPa}{°C}\right)$

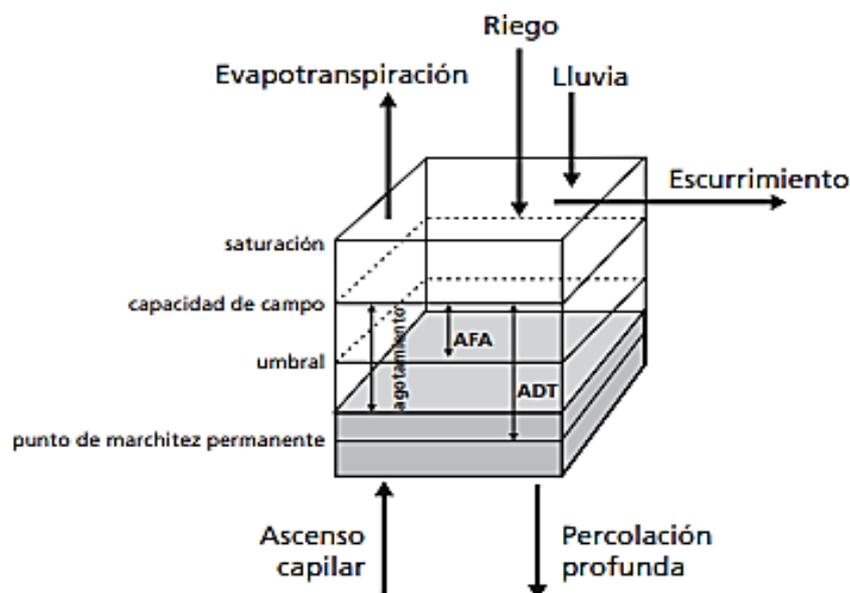
2.2.5. Balance hídrico

En uso de cualquier sistema de riego, las pérdidas de agua ocurren en el sistema de almacenamiento, entrega, distribución al nivel del suelo. El agua es considerada un recurso esencial y extremadamente limitado. En ese sentido la práctica de riego debe ser efectivo a fin de preservar y conservar el recurso hídrico para tener una buena sostenibilidad en el tiempo y el espacio (Vásquez *et al.*, 2017).

El balance hídrico requiere el conocimiento del suministro de agua proporcionado por el riego (R), medido por volumen y la cantidad de agua del cultivo determinado por la evapotranspiración (ETc), que es la pérdida de agua por evaporación de cualquier superficie de evaporación, la transpiración y el drenaje (D), que es la cantidad de agua que se filtra en el suelo por gravedad (Roncalla, 2018).

Figura 9

Balance de agua en la zona radicular



Fuente: FAO (2006).



Si bien es cierto que satisfacer las necesidades de agua es un factor importante para explicar el desempeño, no puede pretender explicarlo todo. También deben incluirse en el modelo criterios como el manejo de cultivos, los ataques de plagas y enfermedades, las características meteorológicas. Para mejorar la calidad de las estimaciones de rendimiento obtenidas, es necesario calibrar; es decir, medir el rendimiento de los cultivos analizados en relación con diferentes niveles de déficit hídrico en las parcelas en condiciones reales. En general, los modelos de balance hídrico no consideran los sistemas del cultivo, y mucho menos los sistemas de producción agrícola. Las estrategias de fechas de siembra también consideran factores como la continuidad de los cultivos en una parcela cada año, actividades agrícolas que no reflejan un balance hídrico único (Maraux *et al.*, 1990). A lo que menciona FAO (2006), afirma que el balance hídrico diario, expresado en una ecuación es:

$$\text{ETc} = \text{Riego} + \text{Precipitacion} - \text{Agua drenada}$$

2.2.6. Factores que influyen en la Evapotranspiración

2.2.6.1. Factor meteorológico

La meteorología es una rama interdisciplinaria que estudia las condiciones climáticas, el medio ambiente atmosférico, sus fenómenos y las leyes que lo gobiernan. Las condiciones meteorológicas son un conjunto de propiedades de: temperatura, humedad relativa, viento, radiación, precipitación, presión, etc., que crea la atmosfera en un lugar y momento determinado. Todas estas variables, sus interacciones y fenómenos de impacto se dan por debajo de la estratosfera, troposfera, La



meteorología evalúa las condiciones meteorológicas actuales y trata de predecirlas en un futuro próximo (Lozano, 2018).

2.2.6.2. Factor suelo

La ciencia del suelo es aún más importante hoy en día, ante los desafíos ambientales, sociales y económicos que se enfrenta; la regulación del cambio climático es un ejemplo y los suelos son importantes debido a su capacidad de detener carbono. No se puede resolver adecuadamente sin entender los suelos, sus funciones de investigar sobre la gestión más sostenible según cada tipo de suelo y zona climática, y desarrollar sistemas de gestión agrícola, para proteger un recurso humano saludable y a largo plazo la preservación. La ciencia del suelo es más necesaria que nunca para abordar las amenazas y desafíos (Porta *et al.*, 2019).

La cantidad de agua en el suelo es muy importante para la evapotranspiración; si el suelo está cerca de la capacidad de campo (líquido retenido después de riego), la ETo será más alta porque el cultivo no tiene que trabajar tanto para absorber agua. ETo aumenta, así como cuando las pérdidas en aplicaciones de agua son altas (Valverde, 2007). Una de las propiedades físicas más importantes de la tierra es la profundidad efectiva. La profundidad efectiva del suelo es donde pueden explorar las raíces de los cultivos, y si estos alteran la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que se toma en cuenta evaluar si el suelo es apto para riego (Santa *et al.*, 2005).

Los factores que impiden la penetración de las raíces de los cultivos al suelo deben tomarse en consideración que son factores limitantes para el

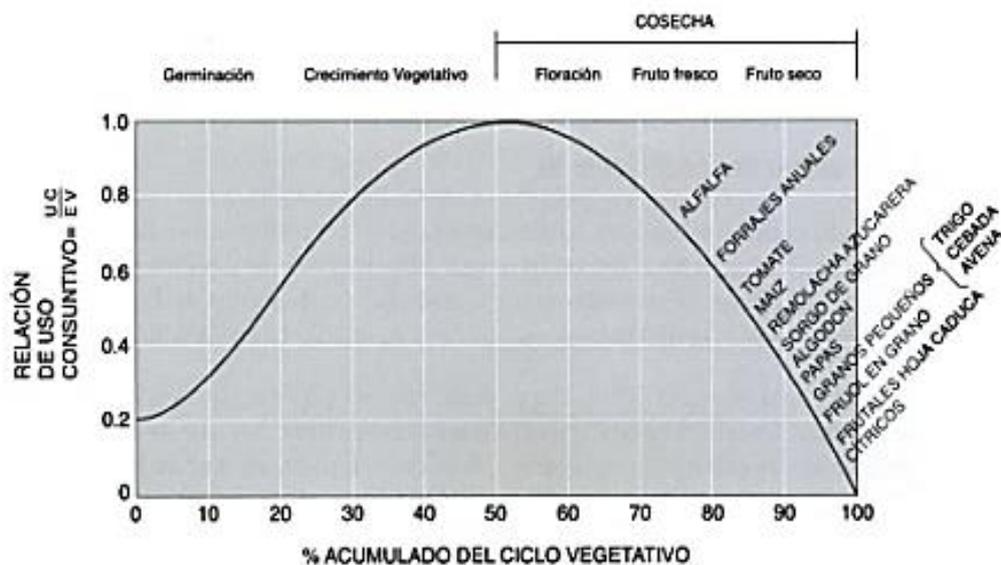
almacenamiento de agua en forma utilizable. Otros factores que limitan significativamente la cantidad de agua disponible para los cultivos son el alto contenido de yeso, carbonatos o grava (Santa *et al.*, 2005).

2.2.7. Coeficiente de cultivo

Valverde (2000) señala que se han realizado trabajos experimentales que han sido expresados en curvas, de acuerdo a los valores obtenidos del Kc en % del ciclo fenológico del cultivo o registros en días después de la siembra. Algunas de las curvas propuestas son de Hansen, es la relación de la evapotranspiración relativa y el crecimiento de la planta durante el ciclo fenológico, teniendo como resultado el coeficiente de cultivo (Kc).

Figura 10

Curva única de Hansen para el cálculo de los Kc



Fuente: Grassi (1975).

El valor, que depende de las características morfológicas, anatómicas y fisiológicas de la planta se denomina Kc. Este varía según el periodo de crecimiento; es decir, el desarrollo fenológico de la planta y la meteorología de la



zona de estudio. Asimismo, depende de la capacidad que tenga la planta en absorber el agua del suelo según el periodo vegetativo que se encuentre el cultivo, este se divide en cuatro fases; fase inicial, fase de desarrollo del cultivo, fase de mediados del periodo y fase de finales del periodo (Valverde, 2000).

$$Kc = ETc/ETo$$

Kc = Coeficiente de los cultivos

ETc = Evapotranspiración real de los cultivos

ETo = Evapotranspiración de referencia

Dado que tanto la evapotranspiración de referencia como la evapotranspiración real de los cultivos, son factores que dependen de la climatología y la ETc también depende del cultivo, de la ecuación anterior se desprende que el coeficiente de cultivo (Kc) es una variable que depende principalmente del cultivo, varía mucho de una etapa a otra. Los valores máximos y mínimos corresponden al estado del desarrollo fenológico del cultivo (Roncalla, 2018).

2.2.7.1. Factores que determinan el Kc

a. Tipo de cultivo

Las características de cada cultivo, como el tamaño, flexibilidad, así como la orientación y densidad de los cultivos, etapa fenológica del cultivo, afectan el microclima (condiciones meteorológicas de la zona). Esto afecta la evapotranspiración (ETo), si la planta es exuberante, alta y densa, la evapotranspiración será alta (Valverde, 2000). Las diferencias entre la evapotranspiración de cultivos y la evapotranspiración de



referencia debido a diferencias en el albedo, la altura del cultivo, las propiedades aerodinámicas, las características de los estomas y hojas de los cultivos. El espaciamiento angosto entre los cultivos, la altura y la rugosidad del suelo dan como resultado K_c superiores a 1.0 para muchos cultivos (Allen *et al.*, 2006).

b. Clima

Los cambios en la velocidad del viento pueden afectar los valores de resistencia aerodinámicos de los cultivos y, por lo tanto, el valor del coeficiente de rendimiento, específicamente para los cultivos que son mucho más altos que el rendimiento del césped asumido. Esta diferencia entre la resistencia y el césped de referencia, varía no solo por el tipo de cultivo, sino también con las condiciones climáticas y la altura del cultivo (FAO, 2006).

c. Evaporación del suelo

Según Millar (1993) la evaporación del suelo es la capacidad del suelo para llevar el agua hacia la superficie. Cuando se encuentra un suelo húmedo, se puede deducir que la evaporación del suelo es en función de la radiación solar.

Con el riego, el objetivo es restaurar el agua perdido en el suelo a través de la evaporación y la transpiración. De esta forma se aseguran unas condiciones de humedad adecuadas para el normal desarrollo del cultivo. En donde la tasa de evaporación depende de la saturación de la atmósfera circundante, por lo que cuando el aire se satura, cae hasta el punto en que no se puede eliminar la humedad de la superficie de evaporación, por lo



que se debe cambiar las condiciones. Las tasas de evapotranspiración también pueden ser cero debido a la disponibilidad limitada de agua en el suelo, lo que ocurre en áreas con largos intervalos entre la sequía y riego poco frecuente (Valverde, 2000).

2.2.7.2. Etapa fenológica del cultivo

Para Valverde (2000), la temporada de crecimiento de los cultivos se dividen en cuatro fases, cada una de las cuales tiene una intensidad diferente según el clima en el que se cultivan.

a. Fase inicial: Se extiende desde la germinación hasta el crecimiento inicial con una cobertura superficial muy baja de alrededor del 10%. Por lo tanto, Tarazona (2017), afirma que en la fase inicial el área foliar es pequeña y la E_{To} se produce primeramente como resultado de la evaporación del suelo. De modo que cuando el suelo este húmedo debido al riego o precipitación, el coeficiente del cultivo en la fase inicial es mayor, pero cuando el suelo se encuentra seco el valor del coeficiente del cultivo es menor.

b. Fase de desarrollo del cultivo: Se caracteriza por un estado de máximo crecimiento; se extiende desde el final de la fase inicial hasta alcanzar una cobertura superficial de 70-80%; en estas condiciones, el coeficiente K_c alcanza su valor más alto. A lo que menciona Tarazona (2017), que a medida que los cultivos crezcan y el suelo tenga cada vez más sombra, la evaporación se convertirá más limitada y la transpiración se volverá gradualmente en el proceso más importante. En esta etapa de desarrollo del cultivo el valor del coeficiente del cultivo dependerá

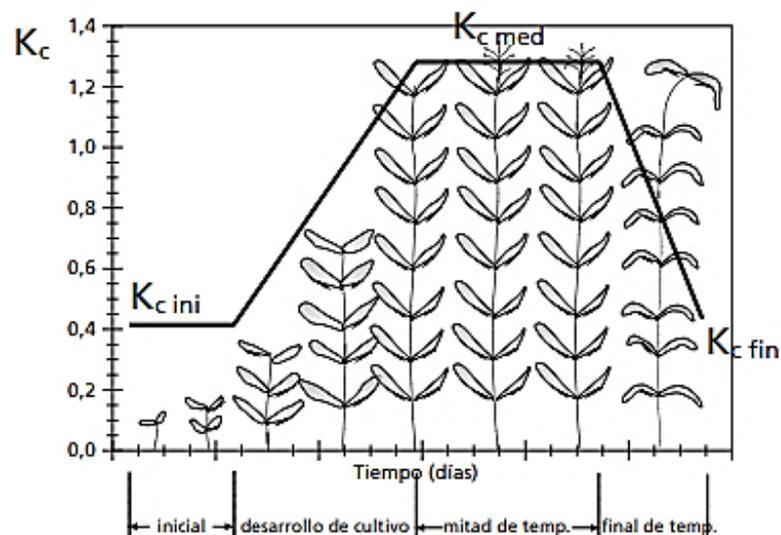
principalmente de la cantidad de cobertura en el suelo y el grado de desarrollo del cultivo.

c. Fase de mediados del periodo (maduración): Es un estado intermedio desde el final de la fase de desarrollo del cultivo a la madurez del cultivo; cubre las etapas de floración y fructificación; en algunos cultivos esto puede prolongarse hasta muy cerca de la época de cosecha. De tal modo Tarazona (2017), menciona que el inicio de la maduración suele manifestarse por envejecimiento, tornándose color amarillo o caídas de las hojas.

d. Fase final del periodo vegetativo (cosecha): Esta fase comprende desde el final de la fase de mediados del periodo hasta que llega a la maduración y/o cosecha.

Figura 11

Procedimiento del coeficiente único del cultivo



Fuente: Allen *et al.* (2006).



Como se muestra en la figura 11, el K_c comienza desde lo más bajo y aumenta mediante transcurre el tiempo y el tamaño de las plantas. Según Roncalla (2018) el valor máximo de K_c se alcanzó en una etapa de floración, se mantuvo constante en la etapa media y finalmente disminuyó en la etapa final. Lo mejor es obtener valores de K_c para cada cultivo; según fecha de siembra y según las características climáticas y meteorología local.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo al desarrollo del trabajo de investigación, este corresponde al tipo de investigación experimental de enfoque cuantitativo; porque se utilizó datos recolectados mediante los instrumentos de medición. Asimismo, se acomoda a las características y objetivos de la investigación.

Desde un punto de vista la investigación cuantitativa, es el análisis de datos o métodos de obtención de datos y/o información, considerando que tiene una visión epistemológica de la realidad. Asimismo, se permite trabajar el análisis estadístico con herramientas de creación, recopilación y manipulación de información, desde luego que mejora la validez externa de los resultados de investigación (Canales, 2006).

3.1.2. Diseño de la investigación

La investigación es considerada cuasi experimental, puesto que, no se selecciona grupos experimentales al azar; sino que, estos grupos ya están conformados antes del experimento. Como variable independiente en el trabajo de investigación tomamos los métodos utilizados para la determinación del requerimiento hídrico (lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith); en donde al implementar el riego en ausencia de la precipitación natural, este forma parte de la variable independiente por el control del suministro de agua. Por otro lado, tenemos la variable dependiente que es el



requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*).

Los diseños cuasiexperimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes (Hernández y Mendoza, 2020).

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

3.2.1. Ubicación política

- Departamento : Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Chucuito

3.2.2. Ubicación geográfica

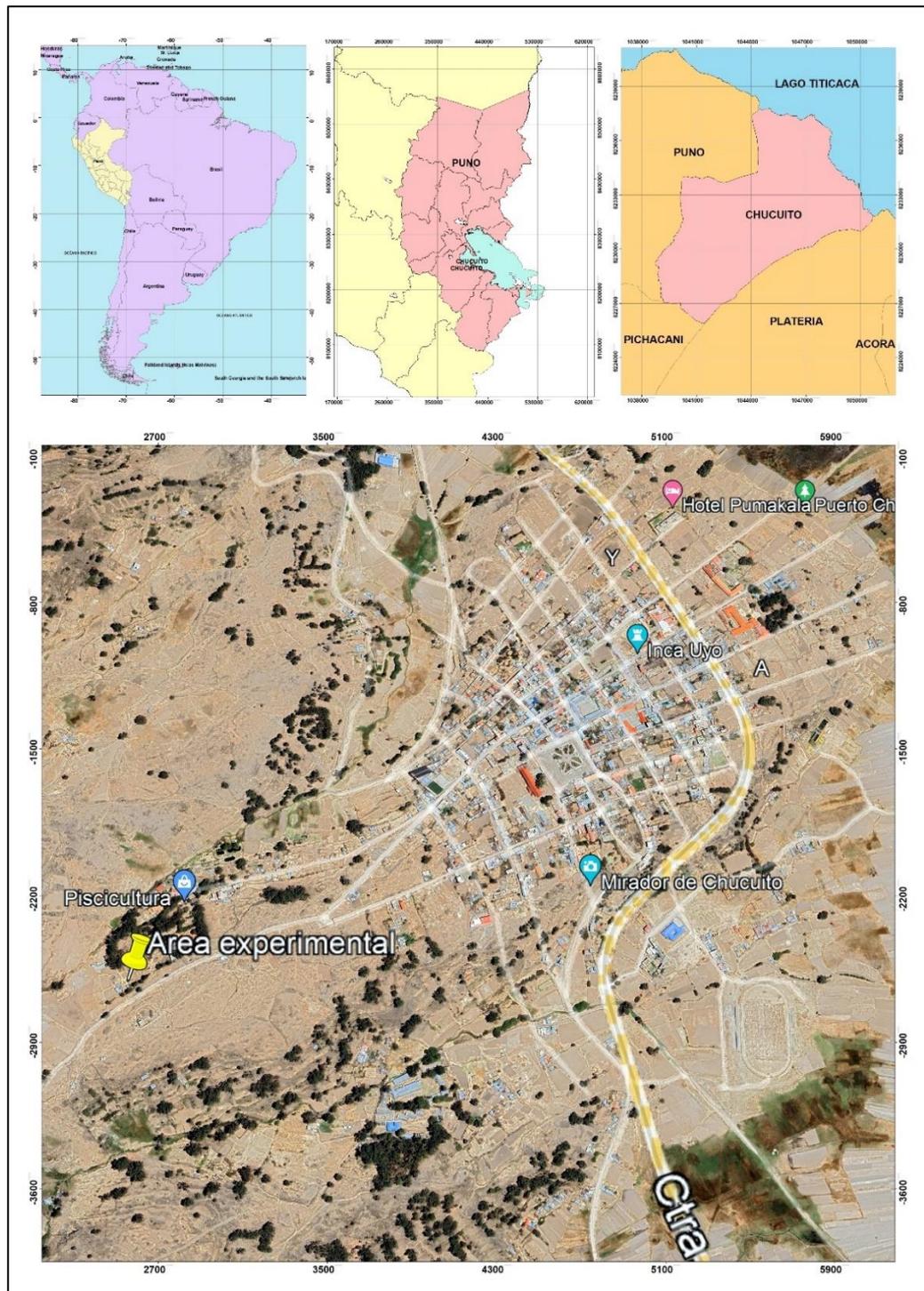
- Latitud : 15°53'54.25" S
- Longitud : 69°53'46.9" W
- Altitud : 3933.11 m.s.n.m.

3.2.3. Localización del terreno experimental (parcela)

En la figura 12, se muestra la ubicación del terreno experimental, donde se instalaron los diferentes componentes para la investigación del requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*).

Figura 12

Localización del área experimental



Nota. Levantamiento de la imagen satelital del área experimental en el distrito de Chucuito, Puno – Puno. Tomada de “Google Earth Pro” [Imagen], 2023.

3.2.4. Caracterización climática del área de estudio

La parcela experimental se encuentra en el Sub - tipo de clima “A”, según la distribución de climas (Thornthwaite, 1948). Sin embargo, se considera que el Distrito de Chucuito cuenta con un clima semiseco y frío, siendo los meses de junio y julio de bajas temperaturas; en la época de lluvia con mayor frecuencia se da en los meses de enero a marzo.

3.2.5. Fecha de inicio y termino

La preparación e instalación del área experimental para todo el proceso investigativo, se inició el 16 de enero del 2023 y culminó el 16 de mayo del 2023, cumpliendo con una totalidad de 04 meses de duración.

3.2.6. Historia del área experimental

El área experimental donde se realizó la investigación para los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), es un terreno que anteriormente fue utilizado para el cultivo de papa.

3.2.7. Recopilación de datos meteorológicos

Respecto a la recopilación de los datos meteorológicos se obtuvieron mediante un Sistema Arduino, que constaba de sensores para la medición de la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), radiación solar (W/m^2) y otras variables climáticas para determinación de la evapotranspiración, el Sistema Arduino nos proporcionó datos cada diez segundos y la recopilación de datos se realizó mediante el software Arduino IDE, instalado a una computadora portátil, los datos fueron descargados de manera periódica para los cálculos correspondientes.

En el trabajo de investigación se registró la temperatura máxima mensual en el mes de abril de 14.10 °C y la temperatura mínima mensual en el mes de mayo 4.95 °C; respecto a la humedad relativa se registró un valor máximo en el mes de febrero de 96.52% y un valor mínimo en el mes de abril de 32.02%, registrando datos de HR promedio mensual entre 58.42% a 77.04 %. Por otro lado, la velocidad del viento máxima mensual más alta se registró en el mes de enero con 3.04 m/s y una velocidad mínima mensual en el mes de mayo con 2.21 m/s.

3.2.8. Fuente hídrica (agua)

El suministro del recurso hídrico proveniente de la captación del manantial Umajalso, que fue construida en el año 1998 conjuntamente con el reservorio y redes de distribución. El manantial Umajalso está localizada al Este del pueblo de Chucuito, teniendo una distancia de 250 m hasta la parcela experimental.

3.2.9. Recurso suelo

Para la determinación del análisis de suelo, se tomaron cinco muestras de suelo de la parcela experimental, a fin de determinar la composición química y el análisis textural; se optó por realizar un muestro simple, puesto que el área de la parcela experimental fue de 36m², teniendo en cuenta que se tomó 05 muestras extraídas de las esquinas y el centro de la parcela todos a una profundidad de 0.30 m. Según FAO (2021) establece que para parcelas pequeñas y/o homogéneas, se analiza una sola muestra de suelo. Lo que concuerda con MINAM (2014) indica el número mínimo de puntos de muestreo ya sean superficiales o de profundidad, estos se evalúan de acuerdo al área de interés (HA); en el caso de 0.1 hectáreas es necesario realizar 04 puntos de muestreo en total. En la figura 14, indica la ubicación de la recolección de la muestra de suelo en el área experimental.

Figura 13

Ubicación de la extracción de la muestra de suelo



Nota: Ubicación de la muestra de suelo, para la determinación del requerimiento hídrico.

Tomada de “Google Earth Pro” [Imagen], 2023.

Los resultados obtenidos del análisis de suelos, se obtuvieron a partir de la muestra de suelo que fue enviada al laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL – DA con registro N° LE – 200 (INIA, PUNO), tal como se puede apreciar en el Anexo 1 y se describe de la siguiente manera.

3.2.9.1. Análisis textural

En la tabla 4, se muestra los resultados de la caracterización de la textura del suelo, según los resultados la muestra de suelo posee un tipo de textura Franco – Franco arcilloso.

Tabla 4

Caracterización de la textura del suelo

Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Tipo de textura	Profundidad (m)
34.52	26.92	38.56	Franco - Franco arcilloso	0.30

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Foliare INIA – PUNO.

3.2.9.2. Análisis Químico

En la tabla 5, se muestra los resultados del análisis químico realizado a la muestra de suelo del área experimental, de acuerdo a Estrada *et al.* (2017) y INIA (2020) afirman que según los ensayos realizados a la muestra de suelo, el pH determinado se encuentra obtiene un valor de 5.80 lo que significa que el suelo es moderadamente ácido; la materia orgánica es moderado con un valor dentro del rango de los indicadores $2.00 < 4.50 < 6.00$ %; el nitrógeno se encuentra en el nivel medio según los resultados $0.1 < 0.17 < 0.2$ %; en caso del fósforo se encuentra en un nivel medio $10.1 < 10.85 < 20.0$ ppm; el nivel del potasio es muy alto 1120.0 ppm; y la capacidad de intercambio catiónico – CIC se encuentra en un nivel medio $12 < 16.55 < 25.0$ meq/100g; respecto a la conductividad eléctrica para la evaluación de la salinidad tiene un grado bajo de salinidad 63.3 mS/m, lo que indica que es una condición ideal para cualquier cultivo.

Tabla 5*Análisis químico del suelo*

Ensayo	Unidad	Resultados
pH	unid. pH	5.80
Conductividad eléctrica	mS/m	32.20
Materia Orgánica (**)	%	4.50
Nitrógeno (**)	%	0.17
Fosforo (**)	ppm	15.85
Potasio (**)	ppm	1120.00
Carbonatos de calcio	%	0.00
Cationes Intercambiables (**)		
Aluminio (Al) (**)	meq/100g	T
Calcio (Ca) (**)	meq/100g	6.1
Magnesio (Mg) (**)	meq/100g	4.5
Potasio (K) (**)	meq/100g	1.5
Sodio (Na) (**)	meq/100g	0.45
Suma de Cationes (**)	meq/100g	12.55
Capacidad de Intercambio (**)	meq/100g	16.55
Evaluación de la salinidad de las muestras por pasta de saturación		
Conductividad Eléctrica	mS/m	63.3
Sodio (Na) (**)	meq/100g	0.90
Potasio (K) (**)	meq/100g	1.72
Calcio (Ca) (**)	meq/100g	3.10
Magnesio (Mg) (**)	meq/100g	4.90
Cloruros (Cl-) (**)	meq/100g	2.70
Sulfatos (SO ₄ ²⁻) (**)	meq/100g	0.87
Nitratos (NO ₃ ⁻) (**)	meq/100g	4.00
Carbonatos (CO ₃ ²⁻) (**)	meq/100g	0.00
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻) (**)	meq/100g	1.12

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Foliare INIA – PUNO.



3.3. MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

a. Materiales y equipos para la preparación del área de estudio

Tabla 6

Materiales y equipos para la preparación del área de estudio

Materiales	Cantidad	Unidad
Pico	02	Und
Lampa	02	Und
Flexómetro	01	Und
Libreta de campo	01	Und
Rollizo de madera	09	Und
Malla mosquitera de metal	25	M
Martillo	01	Und
Grava gruesa	25	kg
Cemento	25	kg
Badilejo	01	Und
Alambre	15	M

b. Materiales para la construcción de los lisímetros de drenaje

Tabla 7

Materiales para la construcción de los lisímetros de drenaje

Materiales	Cantidad	Unidad
Recipientes de polipropileno para los lisímetros	06	Und
Grava gruesa	15	kg
Grava fina	15	kg
Malla Raschell verde	05	M
Moldimix	03	Und
Tubo de 1/2" de PVC	01	Und

c. Materiales para el acondicionamiento de la zona de recolección

Tabla 8

Materiales para el acondicionamiento de la zona de recolección

Materiales	Cantidad	Unidad
Balde de plástico de 20 litros	06	Und
Vaso precipitado de 250 ml	06	Und
Probeta de 25 ml	01	Und
Probeta de 500 ml	01	Und

d. Materiales y equipos para el monitoreo de la evapotranspiración

Tabla 9

Materiales y equipos para el monitoreo

Materiales	Cantidad	Unidad
Sistema arduino	01	Und
Estructura para sistema arduino	01	Und
Tanque de evaporación	01	Und
Panel solar	01	Und
Batería	01	Und
Pluviómetro	01	Und

e. Material biológico

Tabla 10

Material biológico

Materiales	Cantidad	Unidad
Semillas de zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	50	g
Semillas de beterraga (<i>Beta vulgaris</i>)	50	g
Fertilizantes	01	Glb
Abono	01	Glb

f. Material de escritorio

Tabla 11

Material de escritorio

Materiales	Cantidad	Unidad
Computadora portátil	02	Und
Lapiceros	02	Und
Fichas de registro y toma de datos	01	Glb
Hojas de papel bond	01	Glb
Calculadora	01	Und
Software Arduino IDE	01	Glb
Libreta de campo	01	Und

3.4. CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

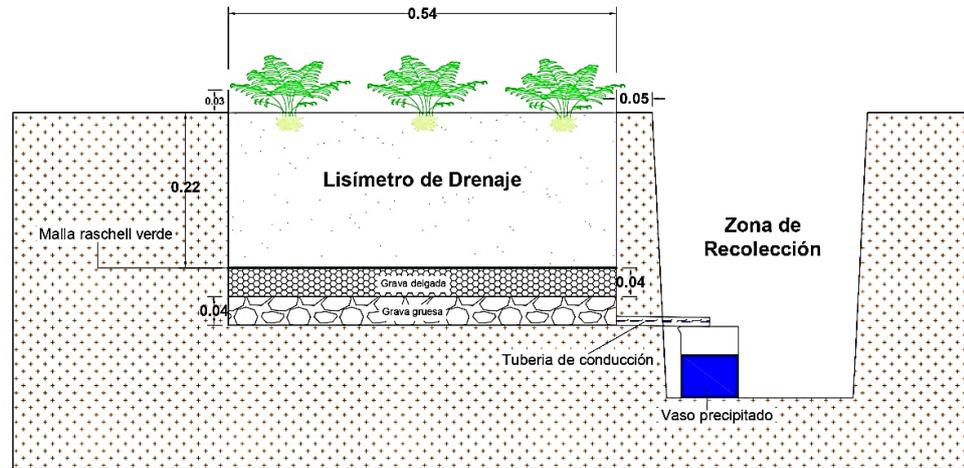
3.4.1. Lisímetro de drenaje

a. Diseño y construcción de lisímetros de drenaje

Para la realización del proyecto de investigación se diseñó y construyó 06 lisímetros de drenaje, sus dimensiones fueron de 0.38 m de ancho, 0.54 m de largo y 0.33 m de profundidad; generando un volumen total de 73 062.00 cm³, cuyas dimensiones mencionadas se ajustan a las características fisiológicas de los cultivos. En la parte inferior de cada lisímetro de drenaje se conectó una tubería de ½” de PVC para el control del drenaje de agua percolada o el agua no aprovechada por el cultivo, y así garantizar la conducción del agua drenada del lisímetro a la zona de recolección. A continuación, se muestra el diseño de un lisímetro de drenaje.

Figura 14

Perfil del lisímetro de drenaje



Nota: En la figura 14, se muestra a detalle los elementos que componen el lisímetro de drenaje. Elaboración propia.

b. Llenado de lisímetro

Para el llenado de los lisímetros; en primer lugar, se comenzó a excavar el suelo a 0.50 metros de profundidad manteniendo el orden de excavación y almacenamiento del suelo extraído para no alterar la composición natural del suelo y su densidad aparente. Seguidamente se instaló cada lisímetro en el lugar indicado considerando una pendiente adecuada para el traslado del agua con normalidad; como primera capa se colocó grava gruesa obteniendo una altura de 04 cm, luego se colocó 04 cm de grava fina para el desplazamiento del agua drenada haciendo un total de 08 cm entre la grava gruesa y fina. Una vez finalizado en colocar las capas filtrantes se colocó malla raschell verde como división entre la grava y el suelo, para que finalmente colocar la tierra extraída a un inicio, terminando así la instalación del lisímetro de drenaje.



c. Construcción de la zona de recolección

Para la ejecución del trabajo de investigación fue necesario acoplar una zona de recolección ubicada a unos 05 cm de los lisímetros de drenaje. Cuyas dimensiones son las siguientes: 35 cm de largo y ancho y 50 cm de profundidad, para esto se necesitó un balde de 20 litros para cada lisímetro de drenaje teniendo una conexión entre ambas mediante una tubería de $\varnothing = \frac{1}{2}$ " de PVC. Una vez terminada la instalación de la zona de recolección se ubicó el vaso precipitado en la parte interior del balde para la medición del agua drenada. Cabe precisar que la distancia entre el lisímetro de drenaje y la zona de recolección es de 05 cm previniendo alteraciones, obteniendo datos de forma segura.

3.4.2. Labores agrícolas

a. Preparación del terreno experimental

Esta práctica varía según el tipo de terreno, topografía y cultivo previo a investigar. Se debe elegir un suelo libre de plagas, enfermedades y tener en cuenta los cambios climáticos, para dar a los agricultores alguna garantía del normal desarrollo fenológico de los cultivos (Andrade, 1991).

El trabajo experimental se realizó en un área de 36 m², dando inicio a la preparación del terreno en el mes de enero del año 2023, empezando con la limpieza del terreno utilizando herramientas manuales como: pico, pala, etc., para que los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), tengan un buen desempeño durante el enraizamiento y desarrollo fenológico.

Se realizó la preparación del terreno semanas antes a la siembra, utilizando un total de 50 kg de abono de ovino en el área experimental, mezclando con una



rastra los materiales biológicos para obtener una nivelación de terreno homogénea y posteriormente efectuar el surcado.

Cabe precisar que, durante la limpieza del terreno experimental, también se realizó la excavación de los diferentes espacios donde se ubicó los lisímetros de drenaje, la zona de recolección y los rollizos de madera que funcionarán como postes para el cerco perimétrico. Se tuvo en cuenta que los lisímetros de drenaje se ubiquen en áreas sin sombras, la menor circulación de las personas y convenientemente la separación de los lisímetros entre sí.

b. Riego

El trabajo de investigación en primera instancia se optó que sea de forma natural (prueba bajo precipitación). Pero dadas las circunstancias que se atravesó en los meses de enero a mayo del 2023 por el déficit de la precipitación en la región altiplánica, fue necesario implementar un sistema de riego en los meses de abril y mayo.

Se realizó la cubicación del riego por el método volumétrico, para ello se utilizó un balde de 12L de capacidad, efectuando 4 repeticiones; siendo el tiempo promedio de 22.26 segundos. A continuación, se muestra la fórmula que se empleó para la determinación del caudal (Q).

$$Q = \frac{V}{T}$$

Q = Caudal L/min

V = Volumen de agua (Litros)

T = Tiempo (min)

Por lo tanto, el caudal determinado es 32.4 L/min; es decir que el cuerpo receptor dispone de este caudal. Sin embargo, es importante mencionar que el sistema de riego que se utilizó fue mediante un microdifusor; teniendo un radio de riego de 4.33 m, pluviometría de 33.0043 mm/h y un coeficiente de uniformidad de 89.06%. La aplicación de riego se efectuó de forma diaria a las 9:00 am durante el lapso de 20 minutos; eligiendo el horario de riego de manera que los vientos no puedan alterar el radio del riego.

Ávila (2021) en su trabajo de investigación obtuvo la evapotranspiración de cultivo (ET_c) mediante el uso de lisimetría pesada, en función de los ingresos de la lluvia y riego, registrando el agua percolada. Sin embargo, indica que la ET_c de acuerdo a su evolución de los cultivos aumenta su valor, varía según las temperaturas de verano programando riegos, de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo.

c. Instalación de los cultivos a investigar

Después de la instalación de los lisímetros de drenaje, que se dividió el área de investigación a seis (06) metros de largo y tres (03) metros de ancho para cada cultivo; tres (03) lisímetros de drenaje fueron para la zanahoria (*Daucus carota*) y (03) lisímetros de drenaje fueron para la beterraga (*Beta vulgaris*).

La siembra se realizó el 16 de enero del 2023, instalando las semillas de zanahoria (*Daucus carota*), mediante el método del voleo en las diferentes camas de tierra. Por otro lado, tenemos la instalación de las semillas de la beterraga (*Beta vulgaris*), donde se instaló una (01) semilla cada 15 cm entre ellas y a una profundidad de 01 cm, entre líneas a doble hilera por cama.



d. Fertilización

Se aplicó fertilizante de origen natural (estiércol de ovino), de acuerdo con la fórmula de fertilización química del suelo 80-40-00, recomendado por Calla (2012) para la región altiplánica. La primera aplicación del fertilizante fue antes de la siembra, incorporando el fósforo (P) al suelo del área experimental y la segunda aplicación fue a los 60 días después de la siembra; de manera simultánea se realizaba la limpieza de malezas, donde se incorporó nitrógeno (urea) al costado de cada cultivo.

e. Labores culturales

Se realizaron según el desarrollo fenológico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y la beterraga (*Beta vulgaris*), como se detalla a continuación:

- La primera actividad cultural que se tomó fue el desahije en el caso del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*), puesto que su siembra fue por voleo, realizándose a los 25 días después de la siembra, estableciendo 12 plantas por lisímetro.
- La segunda actividad cultural fue el arranque de malezas en el área experimental, se realizó de manera manual a los 40 DDS; apareciendo el pasto (*Axonopus scoparius*) y chincho (*Tagetes elliptica*).
- La tercera actividad cultural fue el desyerbo (control de malezas), se realizó a los 60 DDS; donde apareció nuevamente el pasto (*Axonopus scoparius*) y una otra alfalfa (*Medicago sativa*).

Por otro lado, no observamos presencia de plagas en el área experimental en todo el desarrollo fenológico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y la beterraga (*Beta vulgaris*).



f. Aporque

Esta labor nos permitió que el cultivo se desarrolle con mayor eficacia y a su vez evitar que las temperaturas muy bajas (helada) y las temperaturas muy altas afecten a los cultivos. El aporque se realizó a los 60 días después del desyerbo (control de malezas).

Según AGROSAVIA (2000) el aporque se realiza 60 o 70 días después de la siembra del cultivo. Su propósito es proteger los brotes y crecimiento de los tubérculos de la luz solar, temperaturas bajas o altas y ataques de plagas.

g. Cosecha

La cosecha de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y la beterraga (*Beta vulgaris*) se realizó el 17 de mayo del 2023 de manera manual, esta actividad se realizó cuando los cultivos cumplieron su desarrollo de maduración que fue a los 120 días después de la siembra.

3.4.3. Sistema Arduino

a. Instalación del Sistema Arduino

En el área experimental se instaló un Sistema Arduino que consta de sensores que nos proporcionó datos de temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, etc. Para mayor seguridad, el sistema Arduino se colocó en una estructura metálica a lado de la parcela experimental.

Es necesario mencionar que para el funcionamiento del sistema Arduino se necesitó corriente eléctrica; por lo tanto, se instaló un panel solar de 55 Watt Mono Solar Module, con una batería de 12V, capacidad nominal de 33Ah.



Posteriormente en una computadora portátil se instaló el software Arduino IDE, registrando datos básicos para el monitoreo, teniendo un intervalo de tiempo de 10 segundos para mayor precisión.

3.5. METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO

3.5.1. Requerimiento hídrico por el método directo - lisímetros de drenaje

Para la determinación del requerimiento hídrico se instalaron seis (06) lisímetros de drenaje en el área experimental, siendo 03 lisímetros de drenaje para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y 03 lisímetros de drenaje para el cultivo de la beterraga (*Beta vulgaris*); se recopiló datos de manera diaria, midiendo el volumen del agua drenada de cada uno de los lisímetros de drenaje, expresando posteriormente valores de la evapotranspiración real o de cultivo (ETc).

a. Precipitación

De acuerdo a la (OMM, 2010) indica que la unidad de medida de la precipitación es en milímetros (vol./área) o kg/m^2 (masa aire), el registro de datos obtenidos del pluviómetro debe de ser de manera diaria y a una hora establecida. Asimismo, indica que los pluviómetros generalmente son de forma de cilindro recto y con un embudo en la parte superior, los cuales pueden ser de diferente tamaño y forma de embudo. La elevación del pluviómetro debe ser entre 0.5 m y 1.50 m.

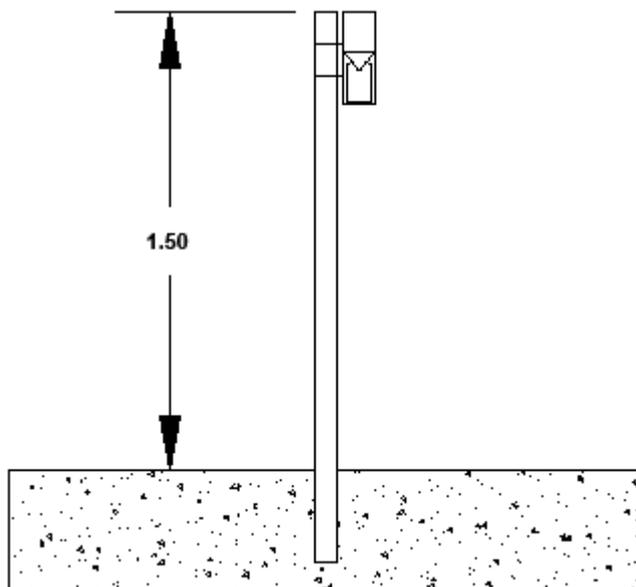
El registro de datos de la precipitación se realiza con las lecturas diarias del agua almacenada, de manera que se mide en una probeta milimetrada o de forma directa con una varilla graduada. El depósito del agua almacenada o la

probeta graduada debe ser de vidrio o plástico transparente; lo que se mantendrá de manera vertical a la hora de toma de datos (OMM, 2010). Pero a su vez indica que, la calibración y mantenimiento del pluviómetro debe ser de manera periódica conservándolos limpios internamente y externamente, empleando un cepillo y agua con jabón para su posterior enjuague con agua limpia.

En el trabajo de investigación la precipitación fue obtenida mediante el pluviómetro que se instaló en el medio del área experimental y considerando una altura de 1.50 metros; la toma de datos se realizó de manera diaria a las 9:00 horas de la mañana; retirando el depósito receptor del pluviómetro para realizar la lectura mediante una probeta milimetrada.

Figura 15

Pluviómetro tipo Hellmann



b. Agua drenada

La medición del agua no aprovechada por el cultivo se realizó de manera diaria a las 9:00 horas de la mañana, midiendo el volumen del agua drenada por



los lisímetros de drenaje, almacenado en la zona de recolección en un vaso precipitado para su posterior lectura y de toma de datos.

La toma de datos se realizó un día después de la precipitación o aplicación del riego. El volumen de agua de los diferentes días se monitoreaba de forma diaria a lo largo de toda la investigación.

c. Aplicación de recurso hídrico y toma de datos

La aplicación del recurso hídrico se tenía provisto que sea de forma natural (precipitación). Por lo que a un inicio no se tomó en cuenta la aplicación del recurso hídrico mediante un sistema de riego; dada las circunstancias del déficit de lluvias en el altiplano puneño, se optó por la aplicación de recurso hídrico mediante un microdifusor.

La toma de datos fue de forma diaria a las 9:00 horas de la mañana, midiendo el volumen de agua percolada de cada lisímetro de drenaje en su respectivo vaso precipitado, siendo evacuado cada día a una probeta milimetrada para su posterior lectura. Cabe mencionar que desde el 01 de abril del 2023 se utilizó el sistema de riego por falta de lluvias en nuestra región altiplánica, dado que la anomalía meteorológica que se presentó no está bajo nuestro control.

d. Procesamiento de datos

Con los datos obtenidos sobre: la precipitación, agua drenada y la aplicación del recurso hídrico (riego), se calculó el requerimiento hídrico según el método directo de lisímetros de drenaje, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\mathbf{ETc = Precipitación + Riego Complementario - Agua drenada}$$



3.5.2. Evapotranspiración potencial (ET_o) – Métodos indirectos

3.5.2.1. Evapotranspiración potencial por el método del tanque de evaporación

El método del tanque de evaporación consiste de manera de referencia, por ser de fácil manejo; en el trabajo de investigación se realizó las lecturas de las tasas de evaporación de manera diaria a las 9:00 horas de la mañana. Asimismo, es importante precisar que el tanque de evaporación que se utilizó en la investigación estaba ubicado en el suelo desnudo dentro del área del cultivo.

a. Coeficiente del tanque de evaporación

El coeficiente del tanque de evaporación (K_p), se establece de acuerdo a la localización del tanque de evaporación, cuyos valores del coeficiente varían acorde a los valores registrados de la velocidad del viento y la humedad relativa (FAO, 2006). Por lo tanto, el K_p que se eligió para el presente trabajo de investigación fue de acuerdo a las características que presento en la parcela experimental tales como: cobertura vegetal, ubicación del tanque de evaporación, velocidad del viento y la humedad relativa media.

Tabla 12

Coefficiente del tanque de evaporación (Kp)

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
	HR media	baja < 40	media 40 - 70	alta > 70	baja < 40	media 40 - 70	alta > 70	
Vel. del viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja < 2	1	.55	.65	.75	1	.7	.8	.85
	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.5	.6	.7
Moderada 2-5	1	.5	.6	.65	1	.65	.75	.8
	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1000	.7	.8	.8	1000	.45	.55	.6
Alta 5-8	1	.45	.5	.6	1	.6	.65	.7
	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1000	.65	.7	.75	1000	.4	.45	.55
Muy alta > 8	1	.4	.45	.5	1	.5	.6	.65
	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1000	.55	.6	.65	1000	.35	.4	.45

Fuente: Tomado de (FAO, 2006).

3.5.2.2. Evapotranspiración potencial por el método de la FAO – Penman-Monteith

Este método indirecto también es considerado como modo de referencia, para ello se trabajó con un sistema Arduino, que nos proporcionó datos meteorológicos a partir del uso de sensores de medición instalados en el lugar de investigación. Posteriormente con los datos meteorológicos obtenidos se insertó en el software ETo Calculator para calcular la evapotranspiración potencial o de referencia (ETo), de acuerdo a los estándares de la FAO.

El programa ETo Calculator tiene la capacidad de administrar datos meteorológicos mensuales y diarios, según la metodología detallada en el documento de Irrigación y drenaje N°56 “Evapotranspiración de los cultivos” (FAO, 2009).

3.5.3. Determinación del coeficiente del cultivo (Kc) para la obtención del requerimiento hídrico a mediante métodos indirectos

3.5.3.1. Coeficiente de cultivo (Kc)

Para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc), se aplicó la metodología propuesta por la FAO, donde:

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

Con los datos obtenidos de la evapotranspiración de cultivo (ETc) y la evapotranspiración potencial (ETo) se aplicó la fórmula ya mencionada propuesta por la FAO, obteniendo el coeficiente de cultivo (Kc) para sus diferentes etapas fenológicas del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*).

3.5.3.2. Requerimiento hídrico a partir de la ETo obtenida por los métodos indirectos (tanque de evaporación – Penman Monteith)

Para la obtención del requerimiento hídrico se utilizó de modo de referencia la fórmula propuesta por la FAO, donde: $Kc = ETc/ETo$. Es así como se tuvo que despejar la variable necesaria, reescribiendo una ecuación equivalente donde:



$$Etc = Kc * Eto$$

Los valores de la ETc obtenidos tanto para el método del tanque de evaporación y el método de la ecuación de la FAO Penman Monteith, se estimó para cada fase fenológica de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) durante un periodo de 120 días.

3.5.4. Comparacion del requerimiento hídrico mediante los métodos:

Lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y ecuación de la FAO Penman Monteith

En este punto de la investigación se realizó un análisis de varianza ANOVA, partiendo de una hipótesis nula que nos indica que las medias de cada grupo son iguales entre sí; y a su vez tenemos una hipótesis alterna que nos indica que no todos los promedios son iguales. En ese sentido se programó en software Excel una tabla para el análisis de varianza donde se tuvo en cuenta las siguientes características: Fuente de variación, suma de cuadrados, grados de libertad, cuadrado medio y finalmente se evalúa si existe diferencias significativas entre sí. De acuerdo a Dagnino (2014) afirma que las técnicas estadísticas como el ANOVA son útiles y efectivas, cuando exista uno o más grupos que deben compararse dentro de las pruebas hipotéticas planteadas, estos pueden no ser iguales o similares; sin embargo, cada característica influye en el resultado.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación nos permitió estimar el valor del requerimiento hídrico para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), mediante diferentes métodos calculados a partir de lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación recomendada por la FAO Penman – Monteith.

4.1. INFORMACIÓN DIARIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Condiciones meteorológicas

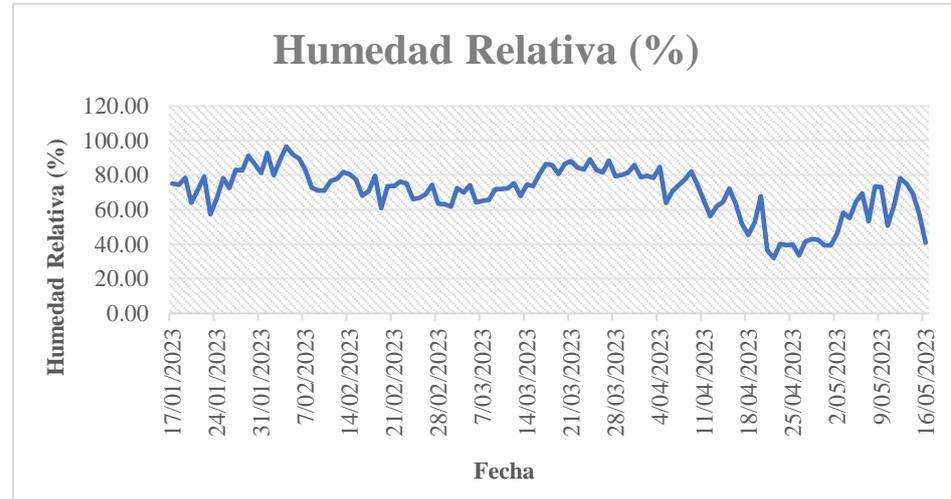
Para la ejecución del trabajo de investigación fue necesario contar con información meteorológica de la zona experimental, el cuál influye en el proceso del desarrollo fenológico de los cultivos y la evapotranspiración del lugar; dicha información se obtuvo mediante el Sistema Arduino instalado en la parcela experimental.

4.1.1.1. Humedad relativa (%)

En la figura 16, se observa la variación de la humedad relativa durante el periodo de investigación, registrando un valor mínimo de 32.02 % en el mes de abril del 2023 y un valor máximo de 96.52 % en el mes de febrero del 2023, obteniendo un promedio de 69.95 %; se observa que a inicios del mes de abril la humedad relativa (%) fue disminuyendo, siendo este favorable para los cultivos.

Figura 16

Representación gráfica de la Humedad Relativa (%) durante el desarrollo de la investigación



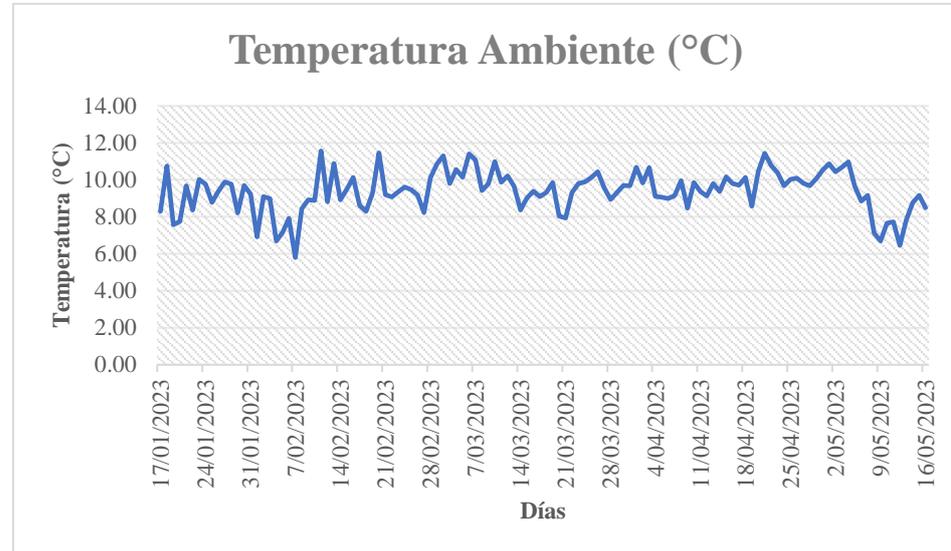
4.1.1.2. Temperatura ambiente (°C)

En la figura 17, se muestra el desarrollo de la temperatura ambiente diaria, registradas durante todo el proceso investigativo.

La temperatura ambiente máxima que se alcanzó fue de 20.70 °C en el mes de marzo del 2023 y un registro mínimo de 1.06 °C en el mes de febrero del 2023; se observó que por la primera semana del mes de mayo la temperatura ambiente fue disminuyendo el cual significaría una menor pérdida de agua por la evaporación. En función del parámetro meteorológico de la temperatura ambiente (°C), nos permite conocer la evapotranspiración potencial (ET_o), dado que existe una relación directa con el tanque de evaporación.

Figura 17

Variación de la temperatura ambiente (°C) durante el proceso investigativo

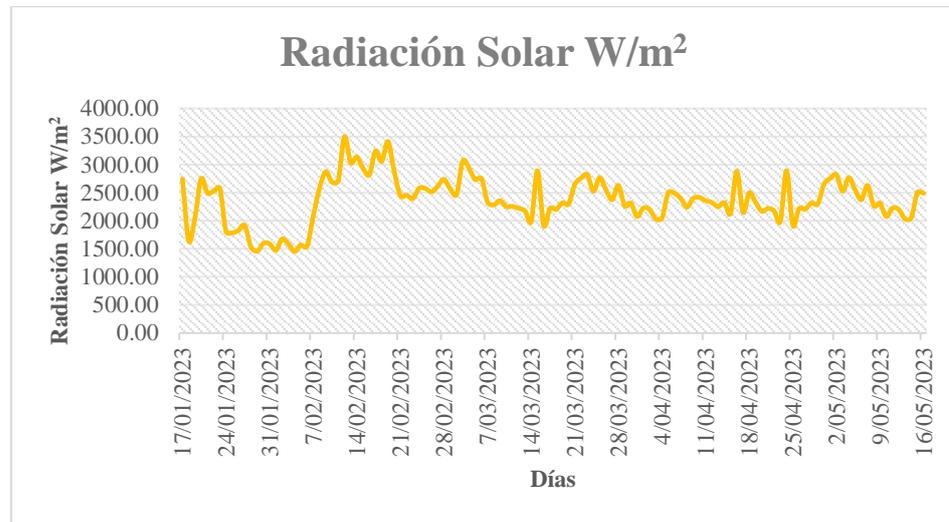


4.1.1.3. Radiación solar (W/m^2)

La radiación solar que se muestra en la figura 18, fuente principal para los captadores de energía (panel solar) y el desarrollo fenológico de los cultivos, a lo que afirma Montero Torres (2022) que la radiación solar es primordial para el desarrollo y producción de plantas hortícolas, considerando datos de este parámetro meteorológico y el clima en general para un efectivo manejo agronómico. En el desarrollo de la investigación se registró un valor máximo promedio mensual de $3497.58 W/m^2$ y un valor mínimo de $1452.27 W/m^2$ registrados en el mes de febrero, los días con datos de radiación solar bajos corresponden a días nublados.

Figura 18

Registro de la Radiación Solar durante el proceso de investigación

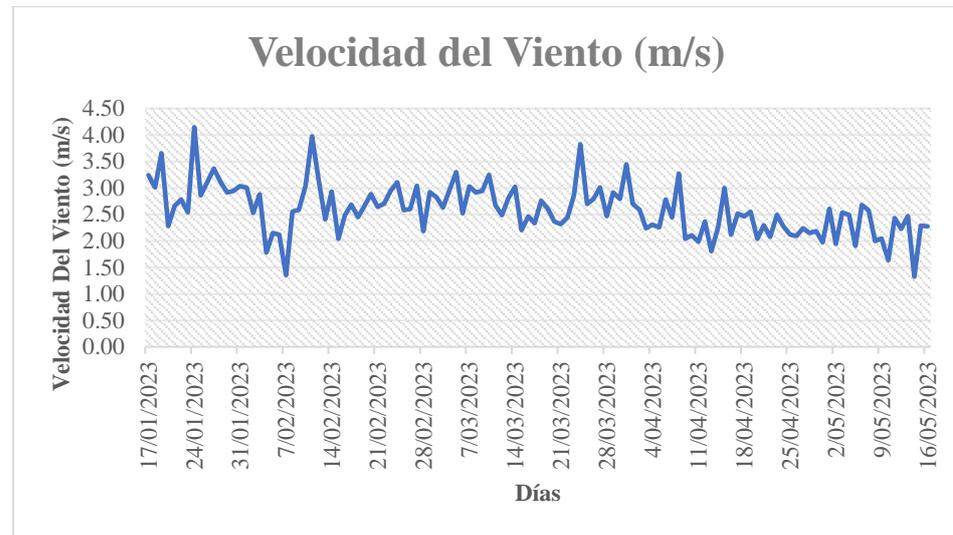


4.1.1.4. Velocidad del viento (m/s)

Uno de los principales parámetros meteorológicos para el desenlace de la evapotranspiración es la velocidad del viento (m/s), este se encarga del desplazamiento de vapor de agua. Asimismo, Rosas (2022) indica el viento tiene un impacto en el desarrollo de los cultivos, ocasionando la rápida deshidratación de los cultivos y el secado del suelo, lo que hace depender la hora del riego.

Figura 19

Velocidad del viento durante el proceso de investigación



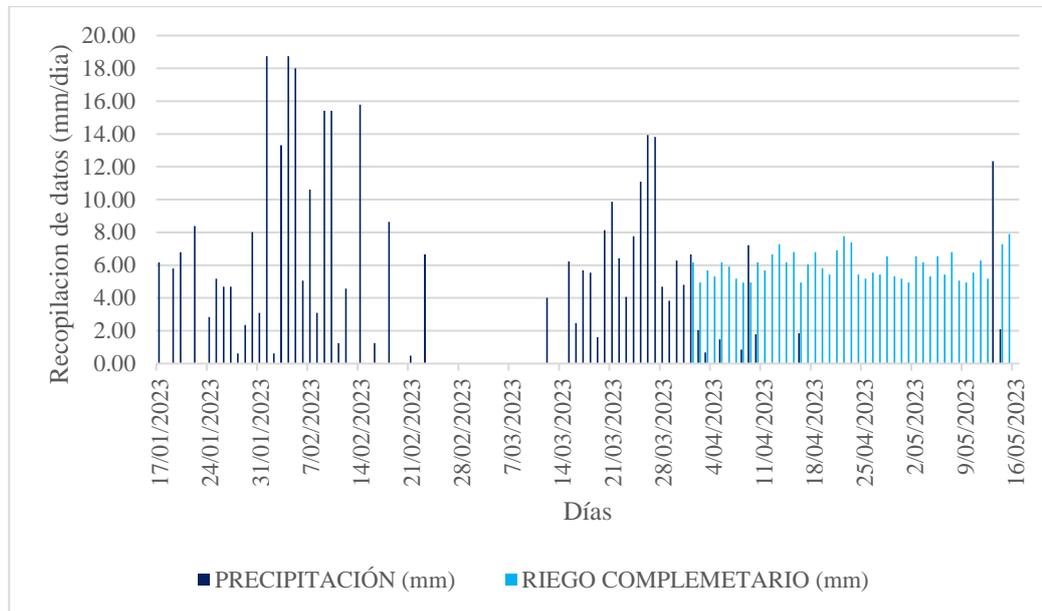
Los valores que se muestra en la figura 19, fueron tomados de la estación meteorológica de Puno - tipo convencional SENAMHI; los datos procesados pertenecen a los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Durante el proceso de investigación se observó que este parámetro meteorológico alcanzó un valor máximo de 4.15 m/s el 24 de enero del 2023 y un valor mínimo de 1.33 m/s el 14 de mayo del 2023.

4.1.2. Precipitación (mm/día)

La precipitación (mm/día) se registró mediante un pluviómetro tipo Hellmann durante toda la etapa de investigación; en la figura 20, se muestra las precipitaciones diarias y el riego que se utilizó en los meses de abril y mayo. Cabe recalcar que el trabajo de investigación se realizó a campo abierto siendo una investigación bajo precipitación, se detalla las precipitaciones diarias y riego en el Anexo 3 y Anexo 4.

Figura 20

Registro de las precipitaciones diarias y riego



En la figura 20, muestra el registro de las precipitaciones diarias que se presentó durante el desarrollo de la investigación, varía desde el valor máximo de 18.75 mm/día registrado en el mes de febrero del 2023 y un valor mínimo de 0.00 mm/día (días sin presencia de lluvias), llegando a acumularse un total de 373.49 mm. A partir de la segunda quincena de febrero y las primeras semanas de marzo del 2023, se presentó ausencias de precipitaciones pluviales; así mismo SENAMHI (2023), en su informe técnico menciona que la escasez de precipitaciones prevaleció durante la producción agrícola, sin precipitaciones de agosto a diciembre mientras que de enero a marzo del 2023 las precipitaciones fueron insuficientes en casi toda la región de Puno. Por ende, fue necesario implementar un sistema de riego, desde el 01 de abril del 2023, se incorporó un difusor de agua, llegando a acumular un total de 269.14 mm.

4.2. REQUERIMIENTO HÍDRICO POR EL MÉTODO DIRECTO - LISÍMETROS DE DRENAJE

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc), se determinó mediante el balance hídrico, empleando el registro de la precipitación diaria menos el agua percolada obtenido de los lisímetros de drenaje, el cual se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Requerimiento hídrico por el método directo

Fases	Días	Fecha	Lamina aplicada (mm)	Lamina drenada de la zanahoria (mm)	Lamina drenada de la beterraga (mm)	ETc de la zanahoria (mm)	ETc de la beterraga (mm)
Fase I	7	23/01/2023	27.14	17.39	17.58	9.75	9.55
	14	30/01/2023	28.37	16.37	16.27	12.00	12.10
	20	05/02/2023	72.53	57.33	57.42	15.19	15.10
Fase II	21	06/02/2023	5.06	2.24	2.29	2.82	2.77
	28	13/02/2023	50.32	33.10	33.22	17.23	17.11
	35	20/02/2023	25.66	13.58	13.75	12.08	11.91
	42	27/02/2023	7.15	1.62	1.67	5.54	5.49
	49	06/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	4.01	0.00	0.00	4.01	4.01
	63	20/03/2023	29.66	7.25	7.07	22.41	22.59
	70	27/03/2023	66.98	38.81	39.29	28.16	27.69
	77	03/04/2023	40.09	12.82	13.20	27.27	26.88
	84	10/04/2023	49.46	20.61	21.26	28.86	28.20
	91	17/04/2023	45.51	18.77	19.65	26.74	25.87
	98	24/04/2023	46.13	19.41	20.26	26.72	25.87
	100	26/04/2023	10.61	3.51	3.74	7.10	6.87
Fase IV	105	01/05/2023	28.00	11.64	12.03	16.36	15.97
	112	08/05/2023	41.69	19.38	19.74	22.31	21.95
	119	15/05/2023	48.72	31.23	31.51	17.49	17.22
	120	16/05/2023	7.89	5.83	5.89	2.06	2.01
Total						304.09	299.14

En la Tabla 13 se muestra el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo (ETc), en todo el periodo vegetativo de 120 días bajo las condiciones meteorológicas y



edafológicas del terreno experimental, de acuerdo a sus fases fenológicas. Siendo la Fase I (inicial) de menor requerimiento hídrico para ambos cultivos, 36.94 mm para el cultivo de zanahoria y 36.76 mm para el cultivo de la beterraga. En la Fase II (desarrollo de cultivo) se presentó la ausencia de lluvias afectando el ascenso de la evapotranspiración de cultivo (ETc), es por ello que se obtuvo un requerimiento hídrico de 37.66 mm para el cultivo de la zanahoria y 37.27 mm para el cultivo de la beterraga. En la Fase III (maduración) a partir del 01 de abril del 2023 se incorporó un sistema de riego que dotaba agua diariamente, lo cual recomienda Forero *et al.* (2015) en su investigación, que no se debe suspender el suministro de agua o frecuencia de riego durante la Fase III de maduración; se registró un aumento de la evapotranspiración de cultivo (ETc) para ambos cultivos, obteniendo 171.27 mm para el cultivo de la zanahoria y 167.98 mm para el cultivo de la beterraga, siendo esta fase de mayor requerimiento hídrico. La evapotranspiración de cultivo (ETc) en la Fase IV (final) fue disminuyendo de manera normal por lo que el cultivo alcanza su madurez lista para la cosecha, determinando 58.23 mm para el cultivo de la zanahoria y 57.14 para el cultivo de la beterraga. En cuanto al requerimiento hídrico total fue 304.09 mm para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) y 299.14 mm para el cultivo de la beterraga (*Beta vulgaris*).

Por su parte Forero *et al.* (2015) en su trabajo de investigación determino que la necesidad hídrica para el cultivo de la zanahoria fue de 105.88 mm durante todo el desarrollo fenológico, siendo la fase de maduración la de mayor requerimiento hídrico, obteniendo un promedio de 0.80 mm/día, a una altitud de 2910 m.s.n.m. en el departamento de Boyacá – Colombia.



4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (E_{To}) – MÉTODOS INDIRECTOS

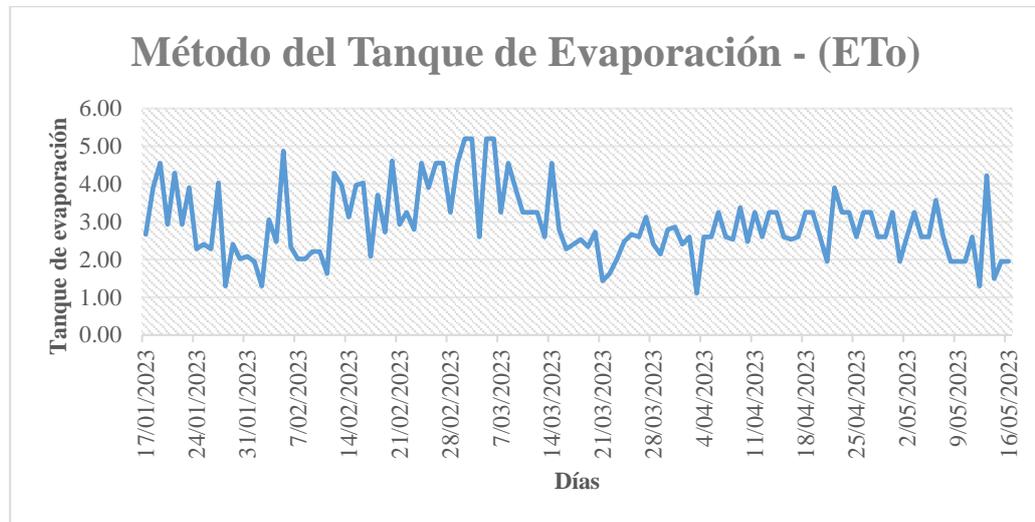
Para la determinación de la evapotranspiración potencial (E_{To}), se trabajó mediante la aplicación de los métodos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith.

4.3.1. Evapotranspiración Potencial (E_{To}) por el método del Tanque de evaporación

El método del tanque de evaporación se realizó de manera de referencia por ser de manejo directo y sencillo; los resultados obtenidos fueron calculados mediante los registros de la evaporación diaria (E_o) y el coeficiente de tanque (K_p). En ese sentido se determinó el K_p de acuerdo a las características presentadas: el tanque de evaporación estaba situado dentro de la parcela lo que correspondería al Caso A según la FAO, así mismo se obtuvo una velocidad de viento moderada de 2.60 m/s y una humedad relativa 69.75%. Evaluando las características que se presentó en la parcela experimental correspondería a un $K_p = 0.65$.

Figura 21

Comportamiento de la ETo mediante el método del tanque de evaporación



De acuerdo a la figura 21, se muestra el comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETo) mediante el método del tanque de evaporación durante el tiempo de investigación de los cultivos; teniendo en cuenta que se registró un valor máximo de 5.20 mm/día en el mes de marzo, y un valor mínimo de 1.11 mm/día en el mes de abril del 2023, tales comportamientos van relacionados con los parámetros meteorológicos que influyen en el desarrollo fenológico. La evapotranspiración potencial (ETo) total registrada mediante el método del tanque de evaporación durante la investigación fue de 353.21 mm.

4.3.2. Evapotranspiración Potencial (ETo) por el método de la FAO

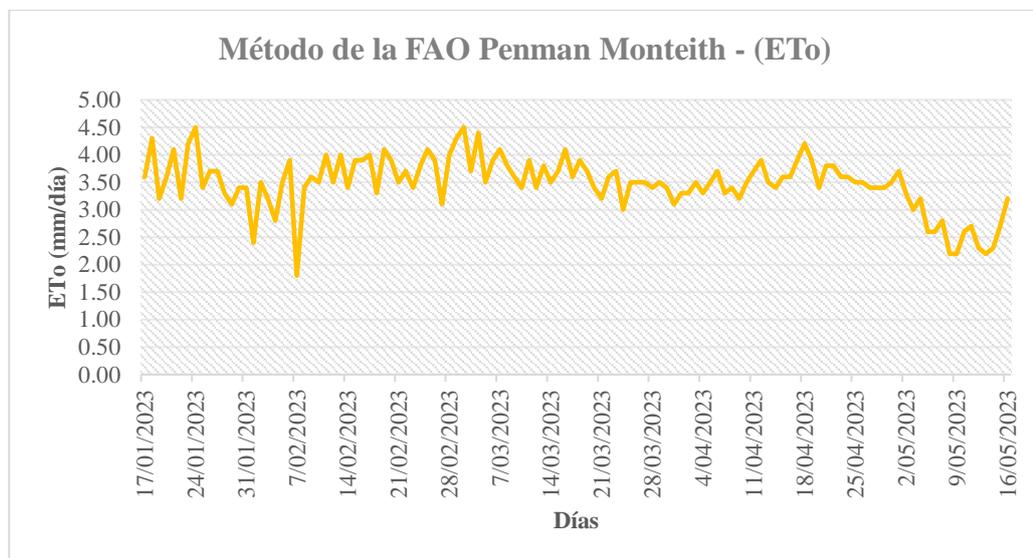
Penman Monteith

Los datos obtenidos por el método de la FAO Penman Monteith, se calcularon mediante el programa Eto Calculator, este es un software desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO, siendo su función principal calcular la evapotranspiración potencial (ETo). Para ejecutar el programa es necesario contar con datos meteorológicos, el cual se obtuvo a través del Sistema Arduino

instalado en la parcela experimental tales como: Humedad Relativa (%), Temperatura Ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y Radiación Solar (W/m^2), también se trabajó con la estación meteorológica de Puno – tipo convencional SENAMHI, para obtener datos de la velocidad del viento (m/s) uno de los parámetros meteorológicos principales para el desenlace de evapotranspiración potencial (ETo). A continuación, se muestra como se ve representada la ETo/día a lo largo de la investigación por el método de Penman Monteith (Figura 22).

Figura 22

Comportamiento de la ETo según el método de la FAO Penman Monteith



En la figura 22, se observa que la evapotranspiración potencial (ETo) mediante la ecuación de la FAO Penman Monteith, fue variando a lo largo de la investigación en función de los parámetros meteorológicos que se presentaron. La evapotranspiración potencial (ETo) máxima se presentó en los meses de enero y marzo con un valor de 4.50 mm/día y el mínimo en febrero con un valor de 1.80 mm/día. La evapotranspiración potencial (ETo) total obtenido a través de la ecuación de la FAO Penman Monteith fue de 417.60 mm. De acuerdo al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2015) la evapotranspiración potencial (ETo) y

el requerimiento hídrico para los cultivos varían según los factores ambientales que se presente a campo abierto. De la misma manera Altamirano (2005) confirma que los principales factores que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento (referidos en el documento de la FAO N°56).

4.3.3. Comparación de la Evapotranspiración Potencial (ET_o) por los métodos: Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith

Con los datos obtenidos mediante los diferentes métodos empleados, se procedió a comparar los resultados promedio mensuales de la evapotranspiración potencial (ET_o), para evaluar si existe diferencia significativa entre ambos métodos.

Tabla 14

Promedios mensuales de la evapotranspiración potencial (ET_o) por dos métodos

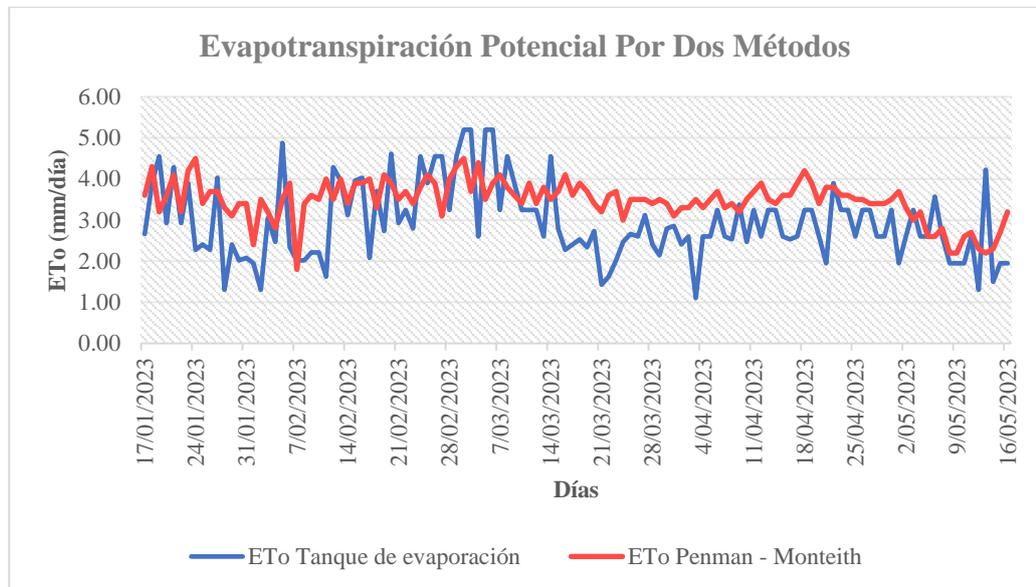
Mes	ET _o (mm/día)	
	Método del tanque de evaporación	Método de la FAO Penman Monteith
Enero	2.93	3.65
Febrero	3.15	3.54
Marzo	3.15	3.66
Abril	2.60	3.55
Mayo	2.22	2.73

En la tabla 14, se muestra que la evapotranspiración potencial (ET_o) promedio mensual obtenida por diferentes métodos: el método de la FAO Penman Monteith obtuvo valores más altos en relación a los resultados obtenidos por el

método del tanque de evaporación. Siendo el mes de marzo el que obtuvo mayor evapotranspiración potencial (ET_o) y posteriormente se presentó el descenso de la misma, lo que indica que la evapotranspiración potencial (ET_o) es mayor en los tres primeros meses, también es necesario mencionar que es sensible ante los parámetros meteorológicos, hacen que este varíe en forma directa el comportamiento de la evapotranspiración potencial (ET_o), el cual se presenta en la Figura 23.

Figura 23

Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial (ET_o) por dos métodos



En la Figura 23, se presenta los valores de la ET_o del Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith a lo largo del desarrollo de la investigación. Sin embargo, da la apariencia de no ser correlativas entre ambos, lo que nos conlleva a realizar la prueba “t” de student para determinar si existe diferencia estadística entre ambos métodos de la evapotranspiración potencial (ET_o). En la tabla 15 se muestra los resultados obtenidos de la prueba “t” de student.

Tabla 15

Resultados de la prueba "t" de Student de la Evapotranspiración Potencial (ET_o) mediante dos métodos

HIPÓTESIS	H ₀ = $\mu_{\text{Penman}} = \mu_{\text{Tanque Evap.}}$ H _a = $\mu_{\text{Penman}} \neq \mu_{\text{Tanque Evap.}}$			
	T	T tabulado (T _t)		
Variable	calculado (T _o)	T _{0.001;8}	T _{0.01;8}	Condición
Penman Monteith vs Tanque de evaporación	2.400	5.041	3.355	Acepta H ₀

Los niveles de significancia $\alpha = 0.001$ y $\alpha = 0.01$ que se utilizó en la prueba “t” de Student determinaron que al comparar los valores por los diferentes métodos empleados de la evapotranspiración potencial (ET_o) es aceptable y no se encontró una variabilidad estadística significativa. Según Arica (2006) los resultados obtenidos por distintos métodos de evapotranspiración potencial (ET_o) correspondientes al periodo investigativo, permite confirmar que el comportamiento meteorológico tiene una significancia en la validez de los resultados y la correlación entre los promedios mensuales de la pérdida de agua.

4.4. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) Y REQUERIMIENTO HÍDRICO A PARTIR DE LA ET_o OBTENIDA POR LOS MÉTODOS INDIRECTOS

4.4.1. Determinación del coeficiente de cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c) de la zanahoria (*Daucus carota*) y de la beterraga (*Beta vulgaris*) se calculó mediante la relación entre la evapotranspiración cultivo (ET_c) y la evapotranspiración potencial (ET_o). De acuerdo a la prueba “t” de student que se realizó, se determinó no existe diferencia

significativa entre ambos métodos de la evapotranspiración potencial (ET_o). Por lo que se tomó en cuenta la evapotranspiración potencial (ET_o) obtenida por el método de la ecuación de la FAO Penman Monteith, para el cálculo del K_c de los diferentes cultivos. El coeficiente de cultivo (K_c) obtenido varía de acuerdo al desarrollo de los cultivos y los parámetros meteorológicos que se presentó en la parcela experimental, tales resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16*Coeficiente del cultivo (K_c)*

Fases	Días	Fecha	ET _c de la zanahoria (mm)	ET _c de la beterraga (mm)	ET _o Penman M. (mm)	K _c zanahoria	K _c beterraga
Fase I	7	23/01/2023	9.75	9.55	26.20	0.37	0.36
	14	30/01/2023	12.00	12.10	25.10	0.48	0.48
	20	05/02/2023	15.19	15.10	18.80	0.81	0.80
Fase II	21	06/02/2023	2.82	2.77	3.90	0.72	0.71
	28	13/02/2023	17.23	17.11	23.80	0.72	0.72
	35	20/02/2023	12.08	11.91	26.50	0.46	0.45
	42	27/02/2023	5.54	5.49	25.50	0.22	0.22
	49	06/03/2023	0.00	0.00	28.30	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	4.01	4.01	26.00	0.15	0.15
	63	20/03/2023	22.41	22.59	25.90	0.87	0.87
	70	27/03/2023	28.16	27.69	24.00	1.17	1.15
	77	03/04/2023	27.27	26.88	23.50	1.16	1.14
	84	10/04/2023	28.86	28.20	23.90	1.21	1.18
	91	17/04/2023	26.74	25.87	25.60	1.04	1.01
	98	24/04/2023	26.72	25.87	26.30	1.02	0.98
100	26/04/2023	7.10	6.87	7.00	1.01	0.98	
Fase IV	105	01/05/2023	16.36	15.97	17.40	0.94	0.92
	112	08/05/2023	22.31	21.95	19.70	1.13	1.11
	119	15/05/2023	17.49	17.22	17.00	1.03	1.01
	120	16/05/2023	2.06	2.01	3.20	0.64	0.63

En la tabla 16 se muestra los valores del coeficiente de cultivo (K_c) para las diferentes fases fenológicas de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), donde se obtuvo un valor mínimo de K_c prom = 0.55

correspondiente a la fase I (inicial) el cual comprende la germinación y brotación de los cultivos; por otro lado, se registró un valor máximo de $Kc_{prom} = 0.95$ para la zanahoria y 0.93 para la beterraga en la fase III (maduración) respectivamente. Cabe mencionar que, en el manual de la FAO, nos proporciona valores del coeficiente de cultivo (Kc); sin embargo, estos varían de acuerdo a las condiciones meteorológicas y edafológicas de cada zona, tales como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17

Kc obtenido vs Kc propuesto por la FAO

Fases	Kc FAO zanahoria	Kc zanahoria	Kc FAO beterraga	Kc beterraga
Inicial	0.70	0.55	0.50	0.55
Desarrollo	1.05	0.35	1.05	0.35
Media	1.05	0.95	1.05	0.93
Final	0.95	0.94	0.95	0.92

En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos del coeficiente de cultivo (Kc) y los valores referenciales del Kc propuestos por la FAO, para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y de la beterraga (*Beta vulgaris*); en donde se puede observar una ligera variación entre las fases fenológicas. Siendo la fase II de bajo Kc obtenido para ambos cultivos, en comparación a los propuestos por la FAO; esto se debe a las ausencias de lluvias que se presentó.

4.4.2. Requerimiento hídrico por los métodos indirectos: Tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith

El requerimiento hídrico se determinó partir de la ecuación planteada anteriormente donde:



$$ETc = Kc * Eto$$

ETc = Evapotranspiración de cultivo

Kc = Coeficiente de cultivo

ETo = Evapotranspiración potencial

4.4.2.1. Requerimiento hídrico - método del tanque de evaporación

En la tabla 18 se muestran los resultados del requerimiento hídrico para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), en el que se emplearon los valores obtenidos del coeficiente de cultivo y la evapotranspiración potencial del tanque de evaporación. Donde los resultados se calcularon de acuerdo a las fases fenológicas de los cultivos con un periodo vegetativo de 120 días, obteniendo el requerimiento hídrico para el cultivo de la zanahoria de 244.03 mm y para el cultivo de la beterraga de 240.01 mm.

Tabla 18

Requerimiento hídrico a partir de la ETo del método tanque de evaporación

Fases	Días	Fecha	Kc Zanahoria	Kc Beterraga	ETo Tanque Ev. (mm)	ETc Zanahoria Tanque Ev.	ETc Beterraga Tanque Ev.
Fase I	7	23/01/2023	0.37	0.36	25.16	9.36	9.17
	14	30/01/2023	0.48	0.48	16.71	7.99	8.05
	20	05/02/2023	0.81	0.80	15.73	12.71	12.64
Fase II	21	06/02/2023	0.72	0.71	2.34	1.69	1.66
	28	13/02/2023	0.72	0.72	18.33	13.27	13.17
	35	20/02/2023	0.46	0.45	24.25	11.05	10.89
	42	27/02/2023	0.22	0.22	26.52	5.76	5.71
	49	06/03/2023	0.00	0.00	31.20	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	3.25	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	0.15	0.15	24.05	3.71	3.71
	63	20/03/2023	0.87	0.87	19.63	16.99	17.12
	70	27/03/2023	1.17	1.15	15.93	18.69	18.37
	77	03/04/2023	1.16	1.14	16.32	18.93	18.66
	84	10/04/2023	1.21	1.18	19.44	23.46	22.93
	91	17/04/2023	1.04	1.01	20.09	20.98	20.29
	98	24/04/2023	1.02	0.98	21.45	21.79	21.10
	100	26/04/2023	1.01	0.98	5.85	5.93	5.74
Fase IV	105	01/05/2023	0.94	0.92	13.65	12.83	12.53
	112	08/05/2023	1.13	1.11	19.18	21.72	21.36
	119	15/05/2023	1.03	1.01	15.47	15.92	15.67
	120	16/05/2023	0.64	0.63	1.95	1.26	1.22
TOTAL						244.03	240.01

4.4.2.2. Requerimiento hídrico - método de la FAO Penman Monteith

Para determinar el requerimiento hídrico se emplearon los valores obtenidos del coeficiente de cultivo y la evapotranspiración potencial de la ecuación de la FAO Penman Monteith, resultados que se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Requerimiento hídrico a partir de la ETo del método de la FAO Penman Monteith

Fases	Días	Fecha	Kc Zanahoria	Kc Beterraga	ETo Penman Monteith (mm)	ETc Zanahoria Penman Monteith	ETc Beterraga Penman Monteith
Fase I	7	23/01/2023	0.37	0.36	26.20	9.75	9.55
	14	30/01/2023	0.48	0.48	25.10	12.00	12.10
	20	05/02/2023	0.81	0.80	18.80	15.19	15.10
Fase II	21	06/02/2023	0.72	0.71	3.90	2.82	2.77
	28	13/02/2023	0.72	0.72	23.80	17.23	17.11
	35	20/02/2023	0.46	0.45	26.50	12.08	11.91
	42	27/02/2023	0.22	0.22	25.50	5.54	5.49
	49	06/03/2023	0.00	0.00	28.30	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	0.15	0.15	26.00	4.01	4.01
	63	20/03/2023	0.87	0.87	25.90	22.41	22.59
	70	27/03/2023	1.17	1.15	24.00	28.16	27.69
	77	03/04/2023	1.16	1.14	23.50	27.27	26.88
	84	10/04/2023	1.21	1.18	23.90	28.86	28.20
	91	17/04/2023	1.04	1.01	25.60	26.74	25.87
	98	24/04/2023	1.02	0.98	26.30	26.72	25.87
	100	26/04/2023	1.01	0.98	7.00	7.10	6.87
Fase IV	105	01/05/2023	0.94	0.92	17.40	16.36	15.97
	112	08/05/2023	1.13	1.11	19.70	22.31	21.95
	119	15/05/2023	1.03	1.01	17.00	17.49	17.22
	120	16/05/2023	0.64	0.63	3.20	2.06	2.01
TOTAL						304.09	299.14

En la tabla 19, se muestra el comportamiento del requerimiento hídrico, bajo sus diferentes fases fenológicas de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Siendo la fase I y II de regular requerimiento hídrico para los cultivos, sin embargo, en la fase III (maduración) se presentó un mayor requerimiento hídrico obteniendo una ETc de 171.27 mm para el cultivo de la zanahoria y 167.98 mm para el cultivo de la beterraga; sin embargo, en la fase IV (final) los valores del



requerimiento hídrico fueron disminuyendo. Asimismo, se determinó el requerimiento hídrico total para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) de 304.09 mm y para el cultivo de la beterraga (*Beta vulgaris*) de 299.14 mm, valores iguales a los obtenidos por el método de lisímetros de drenaje.

4.5. COMPARACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO OBTENIDO POR LOS MÉTODOS: LISÍMETROS DE DRENAJE, TANQUE DE EVAPORACIÓN Y LA ECUACIÓN DE LA FAO PENMAN MONTEITH

En la tabla 20 y la tabla 21, se muestran los resultados del requerimiento hídrico determinados por los métodos: lisímetro de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith, para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Se puede observar que los resultados obtenidos por los métodos de lisímetros de drenaje (método directo) y la ecuación de la FAO Penman Monteith (método indirecto) presentan los mismos valores respecto a la ETc. Dado que, al realizar el cálculo del Kc fue a partir de la ETc obtenido por el método de lisímetros de drenaje y la ETo obtenida por el método de la ecuación de la FAO Penman Monteith, es por ello que al utilizar la ecuación ($ETc = Kc * ETo$), se retorna a los valores iniciales de la ETc obtenidos por método del lisímetro de drenaje.

Tabla 20

Requerimiento hídrico de la zanahoria por tres métodos

Fases	Días	Fecha	ETc Lisímetros	ETc Tanque De	ETc Penman
			De Drenaje Zanahoria	Evaporación Zanahoria	Monteith Zanahoria
Fase I	7	23/01/2023	9.75	9.36	9.75
	14	30/01/2023	12.00	7.99	12.00
	20	05/02/2023	15.19	12.71	15.19
Fase II	21	06/02/2023	2.82	1.69	2.82
	28	13/02/2023	17.23	13.27	17.23
	35	20/02/2023	12.08	11.05	12.08
	42	27/02/2023	5.54	5.76	5.54
	49	06/03/2023	0.00	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	4.01	3.71	4.01
	63	20/03/2023	22.41	16.99	22.41
	70	27/03/2023	28.16	18.69	28.16
	77	03/04/2023	27.27	18.93	27.27
	84	10/04/2023	28.86	23.46	28.86
	91	17/04/2023	26.74	20.98	26.74
	98	24/04/2023	26.72	21.79	26.72
	100	26/04/2023	7.10	5.93	7.10
Fase IV	105	01/05/2023	16.36	12.83	16.36
	112	08/05/2023	22.31	21.72	22.31
	119	15/05/2023	17.49	15.92	17.49
	120	16/05/2023	2.06	1.26	2.06
TOTAL			304.09	244.03	304.09

Tabla 21

Requerimiento hídrico de la beterraga por tres métodos

Fases	Días	Fecha	ETc Lisímetros	ETc Tanque De	ETc Penman
			De Drenaje Beterraga	Evaporación Beterraga	Monteith Beterraga
Fase I	7	23/01/2023	9.55	9.17	9.55
	14	30/01/2023	12.10	8.05	12.10
	20	05/02/2023	15.10	12.64	15.10
Fase II	21	06/02/2023	2.77	1.66	2.77
	28	13/02/2023	17.11	13.17	17.11
	35	20/02/2023	11.91	10.89	11.91
	42	27/02/2023	5.49	5.71	5.49
	49	06/03/2023	0.00	0.00	0.00
	50	07/03/2023	0.00	0.00	0.00
Fase III	56	13/03/2023	4.01	3.71	4.01
	63	20/03/2023	22.59	17.12	22.59
	70	27/03/2023	27.69	18.37	27.69
	77	03/04/2023	26.88	18.66	26.88
	84	10/04/2023	28.20	22.93	28.20
	91	17/04/2023	25.87	20.29	25.87
	98	24/04/2023	25.87	21.10	25.87
	100	26/04/2023	6.87	5.74	6.87
Fase IV	105	01/05/2023	15.97	12.53	15.97
	112	08/05/2023	21.95	21.36	21.95
	119	15/05/2023	17.22	15.67	17.22
	120	16/05/2023	2.01	1.22	2.01
TOTAL			299.14	240.01	299.14

De acuerdo a la tabla 20 y tabla 21, se observa diferencia entre algunos métodos, por lo que se aplicó la prueba ANOVA para determinar si existe diferencias entre los resultados obtenidos por los tres métodos.

Tabla 22*ANOVA del requerimiento hídrico de la zanahoria por tres métodos*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	114.52	2	57.26	0.66	0.52	3.15
Dentro de los grupos	5194.52	60	86.58			
Total	5309.04	62				

Según los resultados de la prueba ANOVA que se muestra en la tabla 22, se observa que el F calculado es 0.66 y este no supera al F crítico que es 3.15, por ende, se acepta la hipótesis nula bajo $\alpha = 0.05$, lo que significa que no existe diferencia significativa entre los tres métodos empleados en la presente investigación.

Tabla 23*ANOVA del requerimiento hídrico de la beterraga por tres métodos*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	111.00	2	55.50	0.67	0.52	3.15
Dentro de los grupos	4983.07	60	83.05			
Total	5094.08	62				

De la misma manera en la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos al realizar la prueba ANOVA, donde se observa que el F calculado es 0.67 y este no supera al F crítico que es 3.15, por ende, se acepta la hipótesis nula bajo $\alpha = 0.05$, lo cual indica que no existe diferencias significativas entre los tres métodos empleados en la presente investigación.



4.6. DISCUSIÓN

- La aplicación de los lisímetros de drenaje fue uno de los puntos principales en el trabajo de investigación, ya que este método nos proporcionó datos que nos ayudó a determinar el requerimiento hídrico de los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta Vulgaris*). En cuanto a los resultados obtenidos el requerimiento hídrico para el cultivo de la zanahoria fue de 304.09 mm y para la beterraga fue de 299.14 mm; sin embargo, Quillahuaman (2022) determino el volumen de agua necesaria para el cultivo de la zanahoria de 153.94 mm en un periodo de 130 días y Zegarra (2019) determino la demanda hidrica para el cultivo de la beterraga de 160.21 mm en un periodo de 90 días. Es importante mencionar que las diferencias que existen entre los resultados obtenidos se debe a las condiciones meteorológicas y edafologicas de cada zona.
- La evapotranspiración potencial (ET_o) obtenida mediante diferentes métodos indirectos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith, se mostraron con una diferencia que dan la apariencia de no ser correlativas entre ambos, por lo que fue necesario realizar la prueba “t” de student herramienta estadística que determina si existe diferencia significativa. Los niveles de significancia que se utilizó fueron de $\alpha = 0.001$ y $\alpha = 0.01$, obteniendo como resultado que la evapotranspiración potencial (ET_o) entre ambos métodos empleados es aceptable y no existe una variabilidad estadística significativa. Lo que concuerda con la investigación de Arica (2006), los resultados que obtuvo por diferentes métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ET_o), son dependientes de comportamiento meteorológico; concluyendo que los resultados estadísticamente son homogéneos entre ambos métodos y no existe una variabilidad significativa. Por todo lo expuesto se decidió trabajar con la

evapotranspiración potencial (ET_o) de la ecuación de la FAO Penman Monteith, por ser un método que utiliza los principales parámetros meteorológicos provenientes del sistema arduino instalado en la parcela experimental.

- Según los resultados obtenidos del coeficiente de cultivo (K_c), en la fase III se alcanzó un valor máximo de 0.95 para la zanahoria y 0.93 para la beterraga, sin embargo, estos valores varían en comparación a lo establecido por la FAO; esta variación se debe a las características climatológicas y edafológica de cada área de investigación; en tal sentido, la FAO recomienda una calibración local, sugiere realizar investigaciones con información in situ. Así mismo, Quispe *et al.* (2020) en su trabajo de investigación indica que el coeficiente de cultivo (K_c) alcanzo un valor máximo después de los 100 días de siembra en la fase III maduración y floración del cultivo, donde se alcanzó $K_c = 1.13$ y 1.17 , por lo que se comprende que en esta fase el requerimiento es mayor, fase donde no debe interrumpirse el riego. Es por ello, que con los resultados obtenidos del K_c y los valores ET_o obtenidos anteriormente, se pudo determinar el requerimiento hídrico para los métodos indirectos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith, en base de la siguiente ecuación propuesta:

$$ET_{c_{T.E.}} = K_c * ET_{o_{T.E.}} \quad ET_{c_{P.M.}} = K_c * ET_{o_{P.M.}}$$

Se determino el requerimiento hídrico total del método indirecto tanque de evaporación, obteniendo 244.03 mm para la zanahoria y 240.01 mm para la beterraga. Del mismo modo se determinó el requerimiento hídrico total de la ecuación de la FAO Penman Monteith, obteniendo valores de 304.09 mm para la zanahoria y 299.14 mm para la beterraga.

- En cuanto a los resultados del requerimiento hídrico obtenidos mediante los métodos: lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO



Penman Monteith. Se compararon estadísticamente bajo la prueba ANOVA en donde no se encontraron diferencias significativas, lo que se contrasta en la investigación de Arica (2006) indica que los resultados del lisímetro de drenaje y tanque tipo “A”, fueron sometidos a una prueba estadística donde concluye que no existe diferencias significativas en los tratamientos.



V. CONCLUSIONES

- Se logró determinar el requerimiento hídrico de los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y la beterraga (*Beta vulgaris*), mediante el uso de lisímetros de drenaje bajo condiciones meteorológicas y edafológicas del distrito de Chucuito. El requerimiento hídrico del cultivo de zanahoria fue de 304.09 mm y para el cultivo de la beterraga fue de 299.14 mm, durante el periodo vegetativo de 120 días; es importante mencionar que en la fase III de maduración, los cultivos llegaron a alcanzar un requerimiento hídrico mayor, en caso del cultivo de la zanahoria fue de 171.27 mm y del cultivo de la beterraga fue de 167.98 mm, por lo que es necesario no suspender la frecuencia de riego.
- Los valores obtenidos de la evapotranspiración potencial (ET_o) fueron determinados mediante los métodos indirectos; según los resultados promedio total del tanque de evaporación la ET_o = 2.94 mm y según la ecuación de la FAO Penman Monteith los resultados promedio total de la ET_o = 3.48 mm. Sin embargo, ambos resultados no parecen ser correlativos, por lo que se realizó la prueba “t” de student con los promedios mensuales de la evapotranspiración potencial; dando como resultado que no existe diferencia significativa entre ambos métodos, lo cual nos indica que al momento de trabajar con cualquier método los resultados serán similares u homogéneos.
- Los valores obtenidos del coeficiente de cultivo (K_c) para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*), fueron determinados a partir de la ET_c y la ET_o, donde: la fase I (inicial) fue uno de los de menor consumo hídrico para ambos cultivos registrando un K_c de 0.55, la fase II (desarrollo) el K_c obtenido fue menor al que se obtuvo en la fase I debido al déficit hídrico que se presentó en la región altiplánica, sin embargo no se vio afectada en



el desarrollo de los cultivos alcanzando un Kc de 0.35, en la fase III (maduración) el Kc de la zanahoria fue de 0.95 y de la beterraga el Kc fue de 0.93 llevándose con total normalidad dado que se implementó un sistema de riego y por ultimo entrando a la fase IV (final) se vio el descenso de los valores obteniendo un Kc de 0.94 para la zanahoria y un Kc de 0.92 para la beterraga. Posteriormente se determinó el requerimiento hídrico a partir de la ETo de los métodos indirectos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith. Los resultados obtenidos del requerimiento hídrico total del método tanque de evaporación fue de 244.03 mm para la zanahoria y 240.01 mm para la beterraga. Por otro lado, se determinó el requerimiento hídrico total del método de la FAO Penman Monteith, obteniendo 304.09 mm para la zanahoria y 299.14 mm para la beterraga, valores que superaron en comparación a los resultados obtenidos por el tanque de evaporación.

- La comparación de los resultados obtenidos del requerimiento hídrico mediante los métodos: lisímetros de drenaje, tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith, se realizó mediante el análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia de 0.05, obteniendo un coeficiente F de 0.66 y valor crítico F de 3.15 para el cultivo de la zanahoria. De la misma manera se obtuvo un coeficiente F de 0.67 y un valor crítico F de 3.15 para el cultivo de la beterraga; en donde para ambos casos el coeficiente F no supera al valor crítico F, por lo que se deduce que la hipótesis planteada es aceptable, es decir, que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos por los tres métodos empleados para la investigación. Es por ello que, se decidió optar por el requerimiento hídrico obtenido mediante el método directo lisímetros de drenaje, por ser el método que utiliza información *in situ* de la parcela experimental.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más estudios experimentales similares, empleando el método directo lisímetro de drenaje que garantiza eficiencia y precisión, lo cual brinda información *in situ* del requerimiento hídrico de los cultivos a usuarios que se dedican a la agricultura (*pequeños* agricultores) o instituciones interesadas, con el fin de ajustar y optimizar el uso del requerimiento hídrico para un futuro sistema de riego bajo condiciones meteorológicas y edafológicas de la zona.
- Se recomienda emplear el método de lisímetros de drenaje y el método de la ecuación de la FAO Penman Monteith, para futuros estudios que determinen el coeficiente de cultivo (K_c) en las diferentes zonas de nuestra región de Puno, con la finalidad de recopilar información local sobre el K_c de los diferentes cultivos.
- A causa del déficit hídrico que se presentó se recomienda realizar investigaciones de los cultivos de zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*) para mejorar y ajustar el requerimiento hídrico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen , R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinaion de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Altamirano Bustillos, C. A. (2005). *Evaluación de la evapotranspiración del cultivo de beterraga (Var. Dark Red Detroit) en camas bajas atemperadas en el altiplano central de Bolivia*. La Paz. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12369>
- Andrade, H. (1991). *Labores de siembra, cultivo y cosecha. En aspetos tecnologicos del cultivo de papa en el Ecuador*. Ecuador: Quito, Ecuador: FUNDAGRO. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5162>
- Arica Meléndres, A. (2006). "Evaluación de tres métodos de determinación de la evapotranspiración potencial en Tingo Maria". Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/58>
- Ávila Dávila, L. (2021). *Gestión del riego basado en la velocidad de infiltracion del agua en el suelo mediante lisimetría de pesada*. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9347>
- Caguasango Bayas, A. L. (2023). *Determinación de la duración del ciclo de cultivo de remolacha (Beta vulgaris L.) VAR. Boro. Cevallos - Ecuador*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/38230>
- Calla Calla, J. (2012). *Guía técnica análisis de suelos y fertilización en el cultivo de quinua orgánica*. AGROBANCO, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-a-quinua.pdf>
- Canales Cerón , M. (2006). *Metodologías de investigación social*. Santiago - Chile: L.O.M. Concha y Toro 23.
- Canllahui Mamani, M. (2013). *Determinación de la evapotranspiración y coeficiente de cultivo (Kc) En la Producción de Papa (Solanum_tuberosum L.) Var. Silver En El CIP-ILLPA-Puno*. Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3576>



- Castañon Najera, G. (2000). *Ingeniería de riego: utilización racional del agua*.
- Chirinos Ortiz, T. (2017). *Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (Chenopodium Quinoa Willd) en lisímetros de drenaje en la Comunidad de Ccaje, campaña 2015 - 2016*. Puno. [:https://doi.org/10.26788/riepg.v7i3.345](https://doi.org/10.26788/riepg.v7i3.345)
- Cooperación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa*. Corpoica.
- Dagnino S., J. (2014). Análisis de varianza. *Revista chilena de anestesia*, 306-310. <http://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Della Maggiora, A., Gardiol, J., & Irigoyen, A. (2000). *Requerimientos hídricos. Bases para el manejo de maíz, el girasol y la soja*. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. Médica Panamericana SA.
- Estrada Herrera, I. R., Hidalgo Moreno, C., Guzmán Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro Garza, H., & Etchevers Barra, J. D. (2017). *Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad*. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Roma: Academia: Accelerating the world's research. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- FAO. (2009). *Tierras y aguas: ETo calculator*. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/es/>
- FAO. (01 de Octubre de 2021). ¿Cómo tomar una muestra de suelos? <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f4269d7f-5320-4e1c-9416-d91042bf1d7a/content>
- Forero Ulloa, F. E., Cely Reyes, G. E., & Neira Rodriguez, E. E. (2015). Requerimiento hídricos de la zanahoria (D. carota L.) durante tres etapas de su desarrollo. *Ciencia y Agricultura*. <https://www.redalyc.org/pdf/5600/560058661005.pdf>



- García, M., Polo, E., Fajardo, V., Salas, L., Avedaño, K., & Caballero, B. (2 de Octubre de 2017). *Blogger*.
<https://taxonomiaenplantas2017.blogspot.com/2017/10/remolacha.html>
- Giraldo N., D. L., & Henao S., J. R. (1986). *El cultivo de la remolacha*. Bogotá.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2074/26883_14292.pdf
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
<https://www.academia.edu/download/64591365/Metodolog%C3%ADvestigaci%C3%B3n.%20Rutas%20cuantitativa,%20cualitativa%20y%20mixta.pdf>
- INEI. (2017). *Resultados Definitivos de los Censos Nacionales*. Lima.
<https://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- INIA. (20 de Mayo de 2020). *Interpretación de Resultados del Análisis de Suelos*.
<https://www.youtube.com/watch?v=z-kldeEdz-o>
- INIA, I. N. (2004). *Cultivo de la beterraga en la Costa Central*. Lima, Perú.
<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1018>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano, Ururi. (2015). *Demanda hídrica bajo sistemas protegidos de la Región de Arica y Parinacota*. Ministerio de Agricultura. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/66810>
- Jaime Piñas, J. A. (2017). *Demanda de Agua para Riego en la Sierra*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica - Facultad de Ciencias Agrarias.
- Lozano Rivas, W. A. (2018). *Clima, hidrología y meteorología: Para ciencias ambientales e ingeniería*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Maderey Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. (UNAM, Ed.) México.
- Maldonado, I., Quezada, C., León, L., & Márquez, L. (Junio de 2006). Programación de riego en remolacha azucarera mediante el método de evaporación de bandeja y el



- modelo de Penman-Monteith. *revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 244. <https://www.academia.edu/download/107915489/271.pdf>
- Maraux , F., & Rapidel, B. (1990). *La simulación del balance hidrico*. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2717/La_simulacion_del_balance_hidrico.pdf?sequence=1
- Millar, A. A. (1993). *Manejo de agua y producción agrícola*. Santiago - Chile. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8215>
- MINAM. (Noviembre de 2014). *Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Monge Freile, M. F., Álvarez Sánchez, A. R., Batista Casaco, A. R., & Santana Alvarado, W. H. (2022). Necesidades hídricas del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad Williams. *Ciencia Tecnología*, 15(2), 19-23.
- Montero Torres, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>.
- Ojeda Bustamante, W., Sifuentes Ibarra, E., Íñiguez Covarrubias, M., & Montero Martínez, M. J. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 8-10. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952011000100001&script=sci_arttext
- OMM. (2010). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos OMM - N°8*. Organización Meteorológica Mundial.
- Pérez, C., Piza, P. A., & Salamanca, Á. P. (31 de Marzo de 2012). Respuesta fisiológica del cultivo de remolacha (*Beta vulgaris L.*) bajo condiciones de un sustrato salino en Madrid, Cundinamarca. *INVENTUM*, 10. <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/477>



- Porta, J., López Acevedo, M., & Poch, R. (2019). *Edafología: uso y protección de suelos*. Cataluña: Ediciones Mundi-Prensa.
- Quillahuaman Gonzales, L. (2022). *Comparativo de tres niveles de fertirrigación potásica en el rendimiento de zanahoria (*Daucus carota* L.), bajo riego localizado en el centro agronómico KAYRA*. Cusco - Perú.
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6466>
- Quispe Rodríguez, J., Quispe Quezada, U. R., Hinojosa Benavides, R. A., & Quispe Medrano, J. A. (4 de Octubre de 2020). Determinación de coeficiente de uso consuntivo (Kc) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) por el método lisimétrico en el valle del Mantaro. *Puriq*, 206.
<http://revistas.unah.edu.pe/index.php/puriq/article/view/88>
- Roncalla Chacón, T. A. (2018). *Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) Para el Cultivo de Chia (*Salvia Hispánica* L.) por el Método de Lisímetros de Drenaje Libre en la Irrigación Majes*. Arequipa.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8428>
- Rosamel, C. (2019). *Las zanahorias*. Parkstone International.
- Rosas Tafur, J. M. (2022). *Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de la papa canchan (*solanum tuberosum* l.) Inia-303 utilizando lisímetro de drenaje en el anexo incapu del distrito de Shilla-Carhuaz*. Huaraz - Perú.
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5100>
- Saavedra del R., G., & Kehr M., E. (2019). *Hortalizas para procesamiento agroindustrial*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR41810.pdf>
- Saavedra Del Real, G., & Kehr M., E. (2022). *Manejo y especies hortícolas aptas para la agroindustria en la Región de La Araucanía*. Temuco, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 472.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/20.500.13082/148167/1/NR43163.pdf>
- Santa Olalla Mañas, F., Lopez Fuster, P., & Calera Belmonte, A. (2005). *Agua y agronomía*. España: Mundi - Prensa.



- SENAMHI. (2023). *Análisis del déficit de lluvias en el departamento de Puno en los periodos 2022/2023 y 2023/2024*. Lima.
- Suasnabar Astete, C., & Torres Suárez, G. (2022). *Fitosanidad del cultivo de zanahoria*. Mantaro: Fondo y Producción Editorial e Impresión de la UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8083>
- Tarazona Santos, N. Y. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa willd), mediante el método del lisímetro*. Huaraz. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1938>
- Thornthwaite, W. (1948). *Clasificación climática*.
- Valverde, J. C. (2000). *Riego y drenaje*. Universidad Estatal a Distancia.
- Vázquez Villanueva, A. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos*. Lima. https://www.sancristoballibros.com/libro/fundamentos-de-la-ingenieria-de-riegos_75124
- Villanueva Mosquera, A. P. (2019). *Determinación del uso consuntivo del agua con lisímetro de drenaje en cultivo de arveja (Pisum Sativum L.) en Cie-Cañasbamba*. UNASAM, Huaraz - Perú. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3406>
- Vivar Aviles, G., & Proaño Saraguro, J. (2022). *Diseño de necesidades hídricas del maíz y frejol de palo, mediante el uso de un bloque de lisímetros de drenaje e instrumentos de medición de la humedad del suelo*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55849>
- Yanangómez Agila, L. V. (2018). *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays L) en la parroquia Malacatos sector San Jose*. Loja - Ecuador. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21176>
- Zamata Quispe, C. (2019). *Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de la papa (Solanum tuberosum) variedad Unica utilizando lisímetro de drenaje en La Molina*. Lima. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4309>



Zegarra Peña, M. (2019). *Demanda hídrica del cultivo de beterraga (*Beta vulgaris* L.) con riego por goteo en el centro agronomico K'AYRA*. Cusco. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3898>



ANEXOS



ANEXO 1: Resultado del análisis de suelo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO N° 05069-23/SU/ LABSAF - ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Luz Amanqui Flores.
Propietario / Productor : Luz Amanqui Flores.
Dirección del cliente : Jr. Acora N°264
Solicitado por : Luz Amanqui Flores.
Muestreado por : Cliente
Número de muestra(s) : 01 muestra.
Producto declarado : Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico.
Referencia del muestreo : Picaicultura de Chucuito.
Procedencia de muestra(s) : Chucuito / Puno / Puno.
Fecha(s) de muestreo : 2023-05-25
Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-05-25
Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Illpa
Fecha(s) de análisis : 2023-05-25
Colización del servicio : 069-23-ILL
Fecha de emisión : 2023-06-05

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1592-ILL-23	--	--	--	--	--
Matriz Analizada	Suelo	--	--	--	--	--
Fecha de Muestreo	2023-05-25	--	--	--	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h)	09:00	--	--	--	--	--
Condición de la muestra	Conservada	--	--	--	--	--
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M-1	--	--	--	--	--
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	--	5,8	--	--	--
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	32,2	--	--	--
Materia Orgánica (**)	%	--	4,5	--	--	--
Nitrógeno (**)	%	--	0,17	--	--	--
Fósforo (**)	ppm	--	15,85	--	--	--
Potasio (**)	ppm	--	1120,0	--	--	--
Carbonatos de calcio	%	--	0,00	--	--	--
Textura (**)						
Arena	%	--	34,52	--	--	--
Limo	%	--	38,56	--	--	--
Arcilla	%	--	26,92	--	--	--
Clase Textural	--	--	Franco-Franco arcilloso	--	--	--
Cationes Intercambiables(**)						
Aluminio (Al) (**)	meq/100g	--	T	--	--	--
Calcio (Ca) (**)	meq/100g	--	6,1	--	--	--
Magnesio (Mg) (**)	meq/100g	--	4,5	--	--	--
Potasio (K) (**)	meq/100g	--	1,5	--	--	--
Sodio (Na) (**)	meq/100g	--	0,45	--	--	--
Suma de Cationes (**)	meq/100g	--	12,55	--	--	--
Capacidad de Intercambio (**)	meq/100g	--	16,55	--	--	--
Evaluación de la salinidad de las muestras por pasta de saturación						
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	63,3	--	--	--
Sodio (Na) (**)	meq/100g	--	0,90	--	--	--
Potasio (K) (**)	meq/100g	--	1,72	--	--	--
Calcio (Ca) (**)	meq/100g	--	3,10	--	--	--
Magnesio (Mg) (**)	meq/100g	--	4,90	--	--	--
Cloruros (Cl-) (**)	meq/100g	--	2,70	--	--	--
Sulfatos (SO ₄ ²⁻) (**)	meq/100g	--	0,87	--	--	--
Nitratos (NO ₃) (**)	meq/100g	--	4,00	--	--	--
Carbonatos (CO ₃) (**)	meq/100g	--	0,00	--	--	--
Bicarbonatos (HCO ₃) (**)	meq/100g	--	0,12	--	--	--



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Anexo Rinconada Salcedo S/N, Puno - Puno

Página 1 de 2
F-46 / Ver.03
www.inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
N° 05069-23/SU/ LABSAF - ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley and Black.
Nitrogeno	ISO 11261_1995. First edition. Soil quality-Determination of total nitrogen-Modified Kjeldahl method.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10 AS-10. 2000. Determinación de fósforo por el método de Olsen y colaboradores.
Potasio	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA.Ed. 1era.2017.ítem 4.9.1.Pag.62.Potasio Disponible.
Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.17 AS-23. Determinación de la acidez y el aluminio intercambiable de cloruro de potasio.
Carbonatos de calcio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-recnat-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonato de calcio por el método de Neutralización Ácida.
Capacidad de Intercambio catiónico	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12 AS-12.2000. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases intercambiables de suelo con acetato de amonio.
Cationes Cambiables (Ca, Mg, Na, K)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 5.2 AS-19.2000. Determinación de cationes solubles Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio) en el extracto de saturación.
Aniones Cambiables (Carbonatos, Cloruros, Sulfatos)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 5.2 AS-20.2000. Determinación de aniones solubles Carbonatos, Cloruros, Sulfatos) en el extracto de saturación.
Nitratos	Manual de los procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA.Ed. 1era.2017.ítem 5.4.4 Pag. 78. Nitratos

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
 - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
 - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
 - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
 - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
 - Medición de pH realizada a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.
 (**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
 (***) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua - Responsable del laboratorio del LABSAF Illpa.



Firma
Jorge Canihua Rojas
Responsable de laboratorio LABSAF ILLPA

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Direccion: Anexo Rinconada Salcedo S/N, Puno - Puno

Página 2 de 2
F-46 / Ver. 03
www.inia.gob.pe

ANEXO 2: Cálculos que se realizaron para la presente investigación

Disponibilidad hídrica

- Se determino el caudal (Q) disponible mediante el método volumétrico, por ser de uso más práctico, de acuerdo a aforos de caudales que pueden ser medidas mediante un recipiente. El aforamiento del caudal se realizó mediante una manguera de ½” y 10 m de longitud que conecta del cuerpo receptor hasta el microdifusor.
 - Se realizaron 4 repeticiones de aforo de caudal:

N°	Volumen de recipiente	Tiempo
1	12 L	22.28 segundos
2	12 L	22.30 segundos
3	12 L	22.18 segundos
4	12 L	22.28 segundos
PROMEDIO		22.26 segundos

Formula del método volumétrico:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Datos:

- Volumen del recipiente = 12 L
- El tiempo = 22.26 segundos

$$Q = \frac{12 \text{ L}}{22.26 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.54 \text{ L/seg}$$



- El caudal obtenido se convierte en (L/min)

$$Q = 0.54 \frac{\text{L}}{\text{seg}} * \frac{60 \text{ seg}}{\text{min}}$$

$$Q = 32.4 \text{ L/min}$$

- Determinación de la pluviometría del microdifusor sobre su área mojada, mediante la siguiente ecuación:

$$PP = 3600 * \frac{Q}{\pi * R^2}$$

Donde:

PP = Pluviometría individual (un solo aspersor en mm/h)

Q = Caudal (l/seg)

R = Radio de alcance del aspersor (m)

$$PP = 3600 * \frac{0.54}{\pi * 4.33^2}$$

$$PP = 33.0043 \text{ mm/h}$$

- Determinación del coeficiente de uniformidad (CU)

- Numero de muestras en centímetros cúbicos (cc)

$$\text{Prom. Q} = \frac{34 + 49 + 40 + 49 + 49 + 44}{6}$$

$$\text{Prom. Q} = 44.17 \text{ cc}$$

- El promedio del (Q) del microdifusor es de 44.17 cc en un tiempo de 20 minutos, como siguiente paso es convertir el 44.17 (cc/min) a (L/hora).



$$Q = \frac{\text{Volumen (cc)}}{\text{Tiempo (seg)}} * 3.6$$

$$Q = \frac{44.17 \text{ ml}}{1200} * 3.6$$

$$Q = 0.1332 \text{ L/h}$$

- Determinar el coeficiente de uniformidad (CU) del sistema de riego muestreado.

Muestras en cc	Xi-X
34.00	10.17
49.00	4.83
40.00	4.17
49.00	4.83
49.00	4.83
44.00	0.17

Datos:

Media de datos

$$\text{Media} = \frac{34 + 49 + 40 + 49 + 49 + 44}{6}$$

$$\text{Media} = 44.17$$

Numero de muestras (N) = 6.00

Numero de muestras al 25%

$$N (25\%) = N * 25\%$$

$$N (25\%) = 1.50$$



Coeficiente de uniformidad (Cu)

$$Cu = \left[1 - \frac{\sum |X_i - X|}{X * N} \right] * 100$$

$$Cu = \left[1 - \frac{29}{44.17 * 6} \right] * 100$$

$$Cu = 89.06 \%$$

Propiedades físicas del suelo

Localidad: Puno – Puno – Chucuito

Arena: 34.52 %

Limo: 38.56%

Arcilla: 26.92%

- Determinación de la capacidad de campo (CC), la fórmula de Peele.

$$CC = 0.48Ac(\%) + 0.162L(\%) + 0.023Ar(\%) + 2.62$$

$$CC = 0.48(26.92) + 0.162(38.56) + 0.023(34.52) + 2.62$$

$$CC = 22.58\%$$

- Determinación de punto de marchites permanente (PM), la fórmula de Briggs.

$$PM = 0.302Ac + 0.102L + 0.0147Ar$$

$$PM = 0.302(26.92) + 0.102(38.56) + 0.0147(34.52)$$

$$PM = 12.57\%$$

Cálculo de riego

- Determinación de la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA)

$$HFA = f * (\theta_{cc}\% - \theta_{pm}\%)$$

$$HFA_{zanahoria} = 0.35 * (22.58\% - 12.57\%)$$

$$HFA_{zanahoria} = 3.50\%$$



$$HFA_{\text{beterraga}} = 0.50 * (22.58\% - 12.57\%)$$

$$HFA_{\text{beterraga}} = 5.00\%$$

- Determinación de la lámina neta

$$LN_{\text{zanahoria}} = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * P * HFA$$

$$LN_{\text{zanahoria}} = \left(\frac{22.58\% - 12.57\%}{100} \right) * 1.35 * 30 * \frac{3.50\%}{100}$$

$$LN_{\text{zanahoria}} = 0.14189 \text{ cm}$$

$$LN_{\text{zanahoria}} = 1.42 \text{ mm}$$

$$LN_{\text{beterraga}} = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * P * HFA$$

$$LN_{\text{beterraga}} = \left(\frac{22.58\% - 12.57\%}{100} \right) * 1.35 * 30 * \frac{5.00\%}{100}$$

$$LN_{\text{beterraga}} = 0.20270 \text{ cm}$$

$$LN_{\text{beterraga}} = 2.03 \text{ mm}$$

- Determinación de la frecuencia de riego (Fr)

$$FR_{\text{zanahoria}} = \frac{LN}{ETc}$$

$$FR_{\text{zanahoria}} = \frac{1.42 \text{ mm}}{3.42 \text{ mm/día}}$$

$$FR_{\text{zanahoria}} = 0.42 \text{ día} \approx 10 \text{ horas}$$

$$FR_{\text{beterraga}} = \frac{LN}{ETc}$$

$$FR_{\text{beterraga}} = \frac{2.03 \text{ mm}}{3.42 \text{ mm/día}}$$



$$FR_{\text{beterraga}} = 0.59 \text{ día} \approx 14 \text{ horas}$$

- Determinación de lámina bruta (Lb)

$$Lb = \frac{ETc}{75\% * CU\%}$$

$$Lb = \frac{3.42}{75\% * 89.06\%}$$

$$Lb = 5.12 \text{ mm/día}$$

- Determinación del tiempo de riego (Tr)

$$Tr = \frac{Lb}{PP}$$

$$Tr = \frac{5.12}{33.00}$$

$$Tr = 0.1551 \text{ h}$$

$$Tr = 9.31 \text{ min} \approx 10 \text{ min}$$

$$\therefore FR_{\text{promedio}} = \frac{10 + 14}{2} = 12 \text{ horas}$$

$$12 \text{ horas} \rightarrow 10 \text{ min}$$

$$24 \text{ horas} \rightarrow X$$

$$X = \frac{24 \text{ h} * 10 \text{ min}}{12 \text{ h}}$$

$$X = 20 \text{ min}$$

$$\therefore Tr_{\text{diario}} = 20 \text{ min}$$



ANEXO 3: Datos meteorológicos registrados en la zona de investigación

Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)			Radiación solar (w/m ²)	Velocidad del viento (m/s)
		Med	Max	Min		
17/01/2023	75.04	8.30	15.40	4.60	2740.90	3.24
18/01/2023	74.45	10.75	18.80	4.61	1641.13	3.01
19/01/2023	78.51	7.57	13.61	3.91	2049.75	3.65
20/01/2023	64.02	7.74	14.02	3.40	2748.61	2.28
21/01/2023	71.43	9.68	18.34	6.58	2494.91	2.66
22/01/2023	79.22	8.36	13.90	4.70	2526.37	2.78
23/01/2023	57.42	10.02	16.80	5.28	2579.35	2.54
24/01/2023	66.33	9.77	18.70	5.10	1803.77	4.15
25/01/2023	78.32	8.79	15.21	5.54	1784.64	2.86
26/01/2023	72.56	9.39	15.80	4.61	1828.48	3.12
27/01/2023	82.96	9.89	17.11	4.20	1916.47	3.37
28/01/2023	82.64	9.77	15.49	5.47	1530.03	3.12
29/01/2023	91.13	8.21	15.06	4.58	1458.09	2.92
30/01/2023	86.45	9.70	16.22	4.42	1598.69	2.95
31/01/2023	81.16	9.23	15.81	5.82	1590.43	3.03



Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)			Radiación solar (w/m ²)	Velocidad del viento (m/s)
		Med	Max	Min		
01/02/2023	92.74	6.92	11.18	3.55	1472.21	3.00
02/02/2023	79.97	9.09	15.71	4.87	1677.21	2.53
03/02/2023	88.96	8.99	15.39	4.88	1588.56	2.88
04/02/2023	96.52	6.70	12.68	3.98	1452.27	1.78
05/02/2023	91.93	7.18	15.58	1.06	1569.06	2.15
06/02/2023	89.42	7.92	18.09	3.13	1541.48	2.12
07/02/2023	83.01	5.80	7.20	4.72	2088.74	1.36
08/02/2023	72.67	8.43	13.80	3.13	2578.44	2.55
09/02/2023	71.10	8.92	14.70	3.13	2874.01	2.59
10/02/2023	71.04	8.88	14.90	4.76	2685.52	3.05
11/02/2023	76.58	11.57	17.89	3.17	2704.80	3.97
12/02/2023	77.80	8.82	15.40	3.49	3497.58	3.13
13/02/2023	81.74	10.88	18.86	4.76	3035.80	2.41
14/02/2023	80.42	8.92	15.41	4.59	3136.03	2.93
15/02/2023	77.23	9.48	17.70	3.60	2934.71	2.04
16/02/2023	68.01	10.13	17.45	5.81	2816.62	2.49
17/02/2023	70.67	8.60	17.00	3.03	3244.85	2.68
18/02/2023	79.46	8.30	14.40	3.44	3057.84	2.45
19/02/2023	60.83	9.29	16.30	3.26	3411.78	2.66
20/02/2023	73.65	11.46	18.11	6.43	2876.81	2.88
21/02/2023	73.59	9.20	15.70	4.88	2441.86	2.64
22/02/2023	76.29	9.07	16.82	4.18	2454.59	2.70
23/02/2023	75.18	9.36	15.80	5.81	2394.79	2.95
24/02/2023	66.14	9.62	16.00	4.63	2580.56	3.11
25/02/2023	66.87	9.47	17.46	3.13	2573.77	2.58
26/02/2023	68.87	9.17	16.90	3.17	2515.59	2.60
27/02/2023	74.43	8.23	13.70	4.73	2616.47	3.04
28/02/2023	63.56	10.10	17.20	3.77	2738.00	2.19



Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)			Radiación solar (w/m ²)	Velocidad del viento (m/s)
		Med	Max	Min		
01/03/2023	63.14	10.86	18.70	5.23	2564.86	2.92
02/03/2023	61.75	11.30	19.60	4.27	2464.05	2.82
03/03/2023	72.46	9.81	17.64	5.90	3063.81	2.63
04/03/2023	70.01	10.56	19.93	4.02	2937.05	2.96
05/03/2023	74.17	10.14	16.48	5.96	2732.29	3.30
06/03/2023	64.30	11.40	17.50	5.34	2753.08	2.52
07/03/2023	65.06	11.08	18.30	4.98	2327.10	3.03
08/03/2023	65.71	9.42	16.80	5.74	2282.97	2.91
09/03/2023	71.78	9.79	16.49	5.45	2356.85	2.95
10/03/2023	71.88	10.99	16.10	6.58	2250.65	3.25
11/03/2023	72.28	9.88	18.78	5.60	2256.25	2.67
12/03/2023	75.31	10.22	16.04	4.74	2219.52	2.48
13/03/2023	67.99	9.64	17.58	5.40	2175.79	2.82
14/03/2023	74.63	8.38	16.82	5.16	1984.80	3.03
15/03/2023	73.54	9.03	17.53	3.53	2892.40	2.20
16/03/2023	80.71	9.38	20.68	4.53	1916.61	2.46
17/03/2023	86.29	9.10	19.18	4.67	2218.61	2.33
18/03/2023	85.75	9.31	20.70	4.23	2202.84	2.76
19/03/2023	80.62	9.86	18.89	4.76	2320.57	2.60
20/03/2023	86.46	8.04	17.68	3.22	2295.03	2.36
21/03/2023	88.11	7.93	15.60	1.10	2647.94	2.32
22/03/2023	84.40	9.32	19.10	4.81	2755.67	2.44
23/03/2023	83.26	9.80	19.38	3.85	2820.98	2.86
24/03/2023	89.14	9.88	17.02	5.14	2525.83	3.82
25/03/2023	82.91	10.12	18.86	5.14	2770.46	2.70
26/03/2023	81.65	10.44	18.39	4.34	2550.77	2.80
27/03/2023	88.32	9.58	19.41	4.46	2373.95	3.01
28/03/2023	79.28	8.94	17.43	3.30	2630.51	2.47
29/03/2023	80.06	9.32	18.75	6.09	2263.94	2.91
30/03/2023	81.35	9.69	18.17	4.65	2314.62	2.80
31/03/2023	85.90	9.68	17.36	4.15	2074.06	3.44



Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)			Radiación solar (w/m ²)	Velocidad del viento (m/s)
		MED	MAX	MIN		
01/04/2023	78.71	10.67	17.17	3.91	2225.34	2.70
02/04/2023	79.52	9.83	17.54	4.17	2201.19	2.59
03/04/2023	78.36	10.66	18.93	5.23	2031.98	2.24
04/04/2023	84.75	9.11	17.96	3.36	2048.50	2.30
05/04/2023	63.78	9.07	17.03	3.36	2501.60	2.25
06/04/2023	70.67	9.00	18.09	1.63	2489.33	2.78
07/04/2023	74.17	9.15	16.97	3.41	2397.82	2.44
08/04/2023	77.53	9.96	17.83	2.95	2241.35	3.27
09/04/2023	82.13	8.47	17.30	2.25	2399.69	2.04
10/04/2023	73.74	9.86	18.52	2.59	2416.07	2.11
11/04/2023	65.12	9.38	18.96	3.34	2357.92	1.99
12/04/2023	56.30	9.13	18.69	3.26	2326.07	2.37
13/04/2023	61.96	9.80	18.22	4.03	2250.74	1.80
14/04/2023	64.41	9.37	17.07	3.06	2323.35	2.25
15/04/2023	72.07	10.17	18.89	4.02	2129.32	3.00
16/04/2023	63.26	9.80	18.48	2.83	2883.23	2.12
17/04/2023	51.80	9.71	18.27	3.09	2149.44	2.52
18/04/2023	45.41	10.12	19.66	1.84	2499.78	2.46
19/04/2023	52.82	8.57	18.42	1.19	2334.10	2.55
20/04/2023	67.74	10.46	18.37	4.28	2171.03	2.04
21/04/2023	36.52	11.44	17.10	5.40	2219.52	2.29
22/04/2023	32.02	10.79	16.90	4.00	2175.79	2.08
23/04/2023	40.29	10.39	16.00	4.20	1984.80	2.49
24/04/2023	39.42	9.68	15.60	3.10	2892.40	2.28
25/04/2023	39.88	10.03	15.80	4.20	1916.61	2.12
26/04/2023	33.52	10.09	15.70	4.00	2218.61	2.09
27/04/2023	41.58	9.82	15.50	3.80	2202.84	2.24
28/04/2023	43.02	9.68	15.70	3.90	2320.57	2.15
29/04/2023	42.67	10.06	16.20	4.20	2295.03	2.19
30/04/2023	39.48	10.53	16.80	4.20	2647.94	1.97



Fecha	Humedad relativa (%)	Temperatura ambiente (°C)			Radiación solar (w/m ²)	Velocidad del viento (m/s)
		MED	MAX	MIN		
01/05/2023	39.31	10.87	17.00	4.80	2755.67	2.60
02/05/2023	46.08	10.44	16.40	4.10	2820.98	1.94
03/05/2023	58.29	10.68	15.50	5.00	2525.83	2.53
04/05/2023	55.10	10.98	16.90	5.70	2770.46	2.49
05/05/2023	64.81	9.64	14.70	5.60	2550.77	1.91
06/05/2023	69.31	8.85	14.00	5.10	2373.95	2.68
07/05/2023	53.27	9.16	13.10	5.70	2630.51	2.58
08/05/2023	73.52	7.13	11.80	4.10	2263.94	2.00
09/05/2023	73.02	6.70	12.10	3.50	2314.62	2.05
10/05/2023	50.75	7.66	13.00	3.00	2074.06	1.64
11/05/2023	62.46	7.73	13.80	2.90	2225.81	2.43
12/05/2023	78.25	6.45	12.80	2.20	2201.19	2.23
13/05/2023	74.83	7.83	12.60	4.00	2031.98	2.47
14/05/2023	68.96	8.77	13.60	4.30	2048.50	1.33
15/05/2023	57.83	9.16	13.80	4.30	2501.60	2.29
16/05/2023	41.04	8.49	15.10	1.90	2489.33	2.28

ANEXO 4: Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el método directo lisímetros de drenaje para el cultivo de

la zanahoria.

$$ETc = \text{Riego} + \text{Precipitación} - \text{Agua drenada}$$

FASE I (inicial)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro Nº1	ETc Lisímetro Nº1	Agua drenada del Lisímetro Nº2	ETc Lisímetro Nº2	Agua drenada del Lisímetro Nº3	ETc Lisímetro Nº3	ETc de la Zanahoria
17/01/2023	6.17	4.19	1.98	4.31	1.85	4.04	2.12	1.98
18/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19/01/2023	5.80	2.34	3.46	2.44	3.36	2.53	3.26	3.36
20/01/2023	6.78	4.63	2.15	4.53	2.25	4.58	2.20	2.20
21/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/01/2023	8.39	6.19	2.20	6.24	2.15	6.14	2.25	2.20
23/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24/01/2023	2.84	1.07	1.76	1.15	1.69	1.12	1.72	1.72
25/01/2023	5.18	3.31	1.87	3.27	1.92	3.24	1.94	1.91
26/01/2023	4.69	3.05	1.64	3.17	1.52	3.07	1.62	1.59
27/01/2023	4.69	1.46	3.23	1.71	2.98	1.80	2.88	3.03
28/01/2023	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.62
29/01/2023	2.34	0.66	1.69	0.97	1.37	0.73	1.61	1.56
30/01/2023	8.02	6.34	1.68	6.48	1.54	6.51	1.51	1.58
31/01/2023	3.08	1.32	1.77	1.36	1.72	1.29	1.79	1.76
01/02/2023	18.75	17.67	1.08	18.76	-0.01	15.11	3.64	1.57
02/02/2023	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.62
03/02/2023	13.32	10.43	2.89	10.16	3.16	10.09	3.23	3.10

FASE II (Desarrollo)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	ETc de la Zanahoria
04/02/2023	18.75	16.03	2.72	16.23	2.52	16.08	2.67	2.63
05/02/2023	18.01	12.57	5.44	12.43	5.58	12.48	5.53	5.52
06/02/2023	5.06	2.29	2.77	2.19	2.86	2.24	2.82	2.82
07/02/2023	10.61	8.16	2.44	8.04	2.57	7.99	2.62	2.54
08/02/2023	3.08	0.44	2.65	0.44	2.65	0.39	2.69	2.66
09/02/2023	15.42	12.43	2.99	12.33	3.09	12.38	3.04	3.04
10/02/2023	15.42	12.28	3.14	12.18	3.23	12.23	3.19	3.19
11/02/2023	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	1.23
12/02/2023	4.56	0.00	4.56	0.00	4.56	0.00	4.56	4.56
13/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14/02/2023	15.79	10.82	4.97	10.82	4.97	10.87	4.92	4.95
15/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/02/2023	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	1.23
17/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18/02/2023	8.63	2.73	5.91	2.83	5.81	2.68	5.95	5.89
19/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21/02/2023	0.49	0.00	0.49	0.00	0.49	0.00	0.49	0.49
22/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23/02/2023	6.66	1.66	5.00	1.58	5.08	1.61	5.05	5.04
24/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro Nº1	ETc Lisímetro Nº1	Agua drenada del Lisímetro Nº2	ETc Lisímetro Nº2	Agua drenada del Lisímetro Nº3	ETc Lisímetro Nº3	ETc de la Zanahoria
26/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FASE III (Maduración)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1		Agua drenada del Lisímetro N°2		Agua drenada del Lisímetro N°3		ETc Lisímetro N°3
		Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	
08/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/03/2023	4.01	0.00	4.01	0.00	4.01	0.00	4.01	4.01
13/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15/03/2023	6.23	1.85	4.38	1.75	4.47	1.71	4.52	4.52

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Zanahoria
15/03/2023	6.23	1.85	4.38	1.75	4.47	1.71	4.52	0.00	4.46
16/03/2023	2.47	0.00	2.47	0.00	2.47	0.00	2.47	0.00	2.47
17/03/2023	5.67	1.51	4.16	1.32	4.36	1.41	4.26	0.00	4.26
18/03/2023	5.55	1.34	4.21	1.27	4.28	1.36	4.19	0.00	4.23
19/03/2023	1.60	0.00	1.60	0.00	1.60	0.00	1.60	0.00	1.60
20/03/2023	8.14	2.68	5.46	2.83	5.31	2.73	5.41	0.00	5.40
21/03/2023	9.87	6.99	2.87	7.09	2.78	6.97	2.90	0.00	2.85
22/03/2023	6.41	3.75	2.66	3.61	2.81	4.00	2.42	0.00	2.63
23/03/2023	4.07	0.33	3.74	0.32	3.75	0.31	3.76	0.00	3.75
24/03/2023	7.77	3.51	4.26	3.29	4.48	3.35	4.42	0.00	4.39
25/03/2023	11.10	7.26	3.84	6.43	4.67	5.95	5.16	0.00	4.55
26/03/2023	13.94	9.60	4.34	9.21	4.73	9.02	4.92	0.00	4.66
27/03/2023	13.81	8.65	5.16	8.28	5.53	8.53	5.29	0.00	5.33
28/03/2023	4.69	0.66	4.03	0.58	4.10	0.73	3.96	0.00	4.03
29/03/2023	3.82	0.10	3.73	0.10	3.72	0.07	3.75	0.00	3.73
30/03/2023	6.29	1.56	4.73	1.36	4.93	1.41	4.88	0.00	4.84
31/03/2023	4.81	0.00	4.81	0.00	4.81	0.00	4.81	0.00	4.81
01/04/2023	6.66	2.73	3.93	2.80	3.86	2.58	4.08	6.17	3.96
02/04/2023	2.04	4.00	4.21	4.17	4.04	4.00	4.21	4.93	4.15
03/04/2023	0.68	3.85	1.76	3.90	1.71	3.85	1.76	5.67	1.75
04/04/2023	0.00	1.63	4.04	1.68	3.99	1.61	4.07	5.30	4.03
05/04/2023	1.48	2.70	4.08	2.90	3.88	2.80	3.98	6.17	3.98
06/04/2023	0.00	1.24	4.92	1.34	4.83	1.27	4.90	5.92	4.88
07/04/2023	0.00	2.00	3.92	2.12	3.80	2.07	3.85	5.18	3.86
08/04/2023	0.86	2.27	3.78	2.39	3.66	2.34	3.70	4.93	3.71

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Zanahoria
09/04/2023	7.22	7.29	4.86	7.31	4.84	7.21	4.94	4.93	4.88
10/04/2023	1.79	3.17	3.55	3.31	3.41	3.17	3.55	6.17	3.51
11/04/2023	0.00	1.58	4.58	1.71	4.46	1.56	4.61	5.67	4.55
12/04/2023	0.00	2.05	3.63	2.17	3.51	2.10	3.58	6.66	3.57
13/04/2023	0.00	2.29	4.37	2.44	4.22	2.19	4.47	7.28	4.35
14/04/2023	0.00	3.00	4.28	3.07	4.21	2.92	4.35	6.17	4.28
15/04/2023	0.00	2.78	3.39	2.83	3.34	2.73	3.44	6.78	3.39
16/04/2023	1.85	5.36	3.27	5.29	3.35	5.43	3.20	4.93	3.27
17/04/2023	0.00	1.56	3.37	1.71	3.23	1.56	3.37	6.04	3.33
18/04/2023	0.00	1.88	4.17	1.95	4.09	1.95	4.09	6.78	4.12
19/04/2023	0.00	2.73	4.05	2.68	4.10	2.63	4.15	5.80	4.10
20/04/2023	0.00	2.51	3.29	2.63	3.17	2.53	3.26	5.43	3.24
21/04/2023	0.00	3.02	2.41	3.05	2.38	2.97	2.45	6.91	2.41
22/04/2023	0.00	2.19	4.71	1.95	4.96	2.05	4.86	7.77	4.84
23/04/2023	0.00	3.75	4.02	3.85	3.92	3.70	4.07	7.40	4.00
24/04/2023	0.00	3.41	3.99	3.51	3.89	3.29	4.11	5.43	4.00
25/04/2023	0.00	2.24	3.19	2.36	3.06	2.19	3.23	5.18	3.16
26/04/2023	0.00	1.36	3.82	1.24	3.94	1.12	4.06	5.55	3.94
27/04/2023	0.00	1.71	3.84	1.51	4.04	1.66	3.89	5.43	3.93
28/04/2023	0.00	2.34	3.09	2.27	3.16	2.29	3.14	6.54	3.13
29/04/2023	0.00	3.41	3.13	3.51	3.03	3.36	3.17	5.30	3.11
30/04/2023	0.00	1.41	3.89	1.51	3.79	1.36	3.94	5.18	3.87
01/05/2023	0.00	2.73	2.45	2.83	2.35	3.02	2.16	4.93	2.32
02/05/2023	0.00	1.80	3.13	1.95	2.98	1.85	3.08	6.54	3.07

FASE IV (Final)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Zanahoria
03/05/2023	0.00	2.73	3.81	2.83	3.71	2.68	3.86	6.17	3.79
04/05/2023	0.00	3.12	3.05	3.17	3.00	3.07	3.10	5.30	3.05
05/05/2023	0.00	2.29	3.01	2.34	2.96	2.19	3.11	6.54	3.03
06/05/2023	0.00	2.39	4.15	2.34	4.20	2.44	4.10	5.43	4.15
07/05/2023	0.00	2.44	2.99	2.51	2.92	2.39	3.04	6.78	2.98
08/05/2023	0.00	4.51	2.28	4.68	2.11	4.43	2.35	5.06	2.24
09/05/2023	0.00	2.83	2.23	2.92	2.13	2.78	2.28	4.93	2.21
10/05/2023	0.00	2.73	2.20	2.83	2.11	2.58	2.35	5.55	2.22
11/05/2023	0.00	2.53	3.02	2.58	2.97	2.68	2.87	6.29	2.95
12/05/2023	0.00	4.78	1.51	4.87	1.42	4.82	1.47	5.18	1.47
13/05/2023	12.33	12.91	4.60	12.65	4.87	12.67	4.84	0.00	4.77
14/05/2023	2.10	0.39	1.71	0.46	1.63	0.37	1.73	7.28	1.69
15/05/2023	0.00	5.12	2.16	5.17	2.11	5.02	2.26	7.89	2.18
16/05/2023	0.00	5.75	2.14	5.95	1.95	5.80	2.09	0.00	2.06

Nota: Evapotranspiración de cultivo (ETc) de la zanahoria (*Daucus carota*) mediante registro de datos diario del agua drenada de cada lisímetro de drenaje.

ANEXO 5: Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el método directo lisímetros de drenaje para el cultivo de la beterraga.

$$ETc = \text{Riego} + \text{Precipitación} - \text{Agua drenada}$$

FASE I (inicial)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	ETc de la Beterraga
17/01/2023	6.17	4.29	1.88	4.34	1.83	4.22	1.95	1.89
18/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19/01/2023	5.80	2.44	3.36	2.53	3.26	2.49	3.31	3.31
20/01/2023	6.78	4.68	2.11	4.58	2.20	4.63	2.15	2.15
21/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/01/2023	8.39	6.14	2.25	6.24	2.15	6.19	2.20	2.20
23/01/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24/01/2023	2.84	1.17	1.67	1.12	1.72	1.07	1.76	1.72
25/01/2023	5.18	3.29	1.89	3.27	1.92	3.17	2.01	1.94
26/01/2023	4.69	2.97	1.71	3.14	1.54	3.07	1.62	1.63
27/01/2023	4.69	1.58	3.10	1.71	2.98	1.75	2.93	3.01
28/01/2023	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.62
29/01/2023	2.34	0.68	1.66	0.97	1.37	0.61	1.73	1.59
30/01/2023	8.02	6.58	1.44	6.36	1.66	6.29	1.73	1.61
31/01/2023	3.08	1.39	1.69	1.36	1.72	1.22	1.87	1.76
01/02/2023	18.75	17.79	0.96	18.42	0.33	15.25	3.50	1.59
02/02/2023	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.00	0.62	0.62
03/02/2023	13.32	10.33	2.99	9.82	3.50	10.70	2.62	3.04
04/02/2023	18.75	16.06	2.69	16.33	2.42	15.98	2.76	2.63
05/02/2023	18.01	12.57	5.44	12.48	5.53	12.57	5.44	5.47

FASE II (Desarrollo)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	ETc de la Beterraga
06/02/2023	5.06	2.29	2.77	2.24	2.82	2.34	2.72	2.77
07/02/2023	10.61	8.09	2.52	8.04	2.57	8.14	2.47	2.52
08/02/2023	3.08	0.44	2.65	0.44	2.65	0.49	2.60	2.63
09/02/2023	15.42	12.43	2.99	12.33	3.09	12.43	2.99	3.02
10/02/2023	15.42	12.28	3.14	12.28	3.14	12.28	3.14	3.14
11/02/2023	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	1.23
12/02/2023	4.56	0.00	4.56	0.00	4.56	0.00	4.56	4.56
13/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14/02/2023	15.79	10.89	4.90	10.87	4.92	10.96	4.82	4.88
15/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/02/2023	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	0.00	1.23	1.23
17/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18/02/2023	8.63	2.83	5.81	2.92	5.71	2.78	5.86	5.79
19/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21/02/2023	0.49	0.00	0.49	0.00	0.49	0.00	0.49	0.49
22/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23/02/2023	6.66	1.66	5.00	1.68	4.98	1.66	5.00	5.00
24/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28/02/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	ETc de la Beterraga
03/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FASE III (Maduración)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	ETc de la Beterraga
08/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/03/2023	4.01	0.00	4.01	0.00	4.01	0.00	4.01	4.01
13/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15/03/2023	6.23	1.75	4.47	1.61	4.62	1.85	4.38	4.49
16/03/2023	2.47	0.00	2.47	0.00	2.47	0.00	2.47	2.47
17/03/2023	5.67	1.32	4.36	1.32	4.36	1.51	4.16	4.29
18/03/2023	5.55	0.76	4.80	1.34	4.21	1.34	4.21	4.41
19/03/2023	1.60	0.00	1.60	0.00	1.60	0.00	1.60	1.60
20/03/2023	8.14	2.83	5.31	2.68	5.46	2.92	5.22	5.33
21/03/2023	9.87	7.19	2.68	7.12	2.75	6.82	3.05	2.83

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada			Agua drenada			Agua drenada			Riego (mm)	ETc de la Beterraga
		Nº1	ETc Lisímetro	Nº2	Nº2	ETc Lisímetro	Nº3	Nº3	Nº3	ETc Lisímetro		
22/03/2023	6.41	3.85	2.56	4.04	2.37	3.70	2.71	0.00	2.55			
23/03/2023	4.07	0.35	3.72	0.31	3.76	0.36	3.71	0.00	3.73			
24/03/2023	7.77	3.07	4.70	3.56	4.21	3.65	4.12	0.00	4.34			
25/03/2023	11.10	6.99	4.11	6.92	4.18	6.07	5.03	0.00	4.44			
26/03/2023	13.94	9.16	4.78	9.16	4.78	9.72	4.22	0.00	4.59			
27/03/2023	13.81	8.53	5.29	8.58	5.24	8.70	5.12	0.00	5.21			
28/03/2023	4.69	0.80	3.88	0.63	4.05	0.73	3.96	0.00	3.96			
29/03/2023	3.82	0.08	3.74	0.07	3.75	0.06	3.77	0.00	3.75			
30/03/2023	6.29	1.46	4.83	1.56	4.73	1.51	4.78	0.00	4.78			
31/03/2023	4.81	0.05	4.76	0.07	4.74	0.02	4.79	0.00	4.76			
01/04/2023	6.66	2.73	3.93	2.88	3.79	2.78	3.88	6.17	3.87			
02/04/2023	2.04	4.07	4.13	4.24	3.96	4.09	4.11	4.93	4.07			
03/04/2023	0.68	3.90	1.71	3.95	1.66	3.92	1.69	5.67	1.69			
04/04/2023	0.00	1.71	3.97	1.78	3.90	1.68	3.99	5.30	3.95			
05/04/2023	1.48	2.83	3.96	2.92	3.86	2.85	3.93	6.17	3.92			
06/04/2023	0.00	1.32	4.85	1.46	4.71	1.36	4.80	5.92	4.79			
07/04/2023	0.00	2.14	3.78	2.19	3.73	2.12	3.80	5.18	3.77			
08/04/2023	0.86	2.39	3.66	2.56	3.49	2.34	3.70	4.93	3.62			
09/04/2023	7.22	7.38	4.77	7.46	4.69	7.41	4.74	4.93	4.73			
10/04/2023	1.79	3.27	3.46	3.29	3.43	3.34	3.38	6.17	3.42			
11/04/2023	0.00	1.71	4.46	1.80	4.36	1.75	4.41	5.67	4.41			
12/04/2023	0.00	2.19	3.48	2.34	3.33	2.14	3.53	6.66	3.45			
13/04/2023	0.00	2.36	4.30	2.58	4.08	2.49	4.18	7.28	4.18			
14/04/2023	0.00	3.12	4.16	3.17	4.11	3.14	4.13	6.17	4.13			
15/04/2023	0.00	2.88	3.29	2.92	3.24	2.85	3.32	6.78	3.28			
16/04/2023	1.85	5.46	3.18	5.60	3.03	5.31	3.32	4.93	3.18			
17/04/2023	0.00	1.63	3.30	1.78	3.16	1.71	3.23	6.04	3.23			

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Beterraga
18/04/2023	0.00	2.19	3.85	2.05	4.00	1.90	4.14	6.78	4.00
19/04/2023	0.00	2.88	3.91	2.78	4.01	2.83	3.96	5.80	3.96
20/04/2023	0.00	2.78	3.02	2.68	3.12	2.53	3.26	5.43	3.13
21/04/2023	0.00	3.07	2.36	3.12	2.31	3.07	2.36	6.91	2.34
22/04/2023	0.00	2.10	4.81	2.24	4.67	2.34	4.57	7.77	4.68
23/04/2023	0.00	3.87	3.90	4.02	3.75	3.75	4.02	7.40	3.89
24/04/2023	0.00	3.39	4.01	3.65	3.75	3.53	3.87	5.43	3.88
25/04/2023	0.00	2.49	2.94	2.29	3.14	2.31	3.11	5.18	3.06
26/04/2023	0.00	1.39	3.79	1.36	3.82	1.36	3.82	5.55	3.81

FASE IV (Final)

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Beterraga
27/04/2023	0.00	1.90	3.65	1.71	3.84	1.56	3.99	5.43	3.83
28/04/2023	0.00	2.44	2.99	2.39	3.04	2.34	3.09	6.54	3.04
29/04/2023	0.00	3.39	3.15	3.65	2.88	3.41	3.13	5.30	3.05
30/04/2023	0.00	1.61	3.70	1.36	3.94	1.56	3.74	5.18	3.79
01/05/2023	0.00	3.17	2.01	2.83	2.35	2.78	2.40	4.93	2.26
02/05/2023	0.00	1.90	3.03	1.95	2.98	1.90	3.03	6.54	3.02
03/05/2023	0.00	2.83	3.71	2.78	3.76	2.83	3.71	6.17	3.73
04/05/2023	0.00	3.12	3.05	3.29	2.88	3.22	2.95	5.30	2.96

FECHA	Precipitación (mm)	Agua drenada del Lisímetro N°1	ETc Lisímetro N°1	Agua drenada del Lisímetro N°2	ETc Lisímetro N°2	Agua drenada del Lisímetro N°3	ETc Lisímetro N°3	Riego (mm)	ETc de la Beterraga
05/05/2023	0.00	2.34	2.96	2.39	2.92	2.19	3.11	6.54	3.00
06/05/2023	0.00	2.51	4.03	2.44	4.10	2.39	4.15	5.43	4.09
07/05/2023	0.00	2.49	2.94	2.58	2.84	2.39	3.04	6.78	2.94
08/05/2023	0.00	4.46	2.32	4.63	2.15	4.63	2.15	5.06	2.21
09/05/2023	0.00	2.83	2.23	3.17	1.89	2.63	2.43	4.93	2.18
10/05/2023	0.00	2.66	2.28	2.88	2.06	2.68	2.25	5.55	2.20
11/05/2023	0.00	2.53	3.02	2.68	2.87	2.63	2.92	6.29	2.94
12/05/2023	0.00	4.87	1.42	4.82	1.47	4.80	1.49	5.18	1.46
13/05/2023	12.33	13.01	4.50	12.65	4.87	12.91	4.60	0.00	4.66
14/05/2023	2.10	0.44	1.66	0.49	1.61	0.39	1.71	7.28	1.66
15/05/2023	0.00	4.97	2.31	5.21	2.06	5.26	2.01	7.89	2.13
16/05/2023	0.00	5.70	2.19	5.99	1.90	5.97	1.92	0.00	2.01

Nota: Evapotranspiración de cultivo (ETc) de la beterraga (*Beta vulgaris*) mediante registro de datos diario del agua drenada de cada lisímetro de drenaje.



ANEXO 6: Calculo de la evapotranspiración potencial (ET_o) mediante el método
tanque de evaporación

$$ET_o = E_o * K_p$$

Fecha	Evaporación (mm)	Coefficiente de Tanque (Kp)	Evapotranspiración Potencial (ET_o)
17/01/2023	4.10	0.65	2.67
18/01/2023	6.00	0.65	3.90
19/01/2023	7.00	0.65	4.55
20/01/2023	4.50	0.65	2.93
21/01/2023	6.60	0.65	4.29
22/01/2023	4.50	0.65	2.93
23/01/2023	6.00	0.65	3.90
24/01/2023	3.50	0.65	2.28
25/01/2023	3.70	0.65	2.41
26/01/2023	3.50	0.65	2.28
27/01/2023	6.20	0.65	4.03
28/01/2023	2.00	0.65	1.30
29/01/2023	3.70	0.65	2.41
30/01/2023	3.10	0.65	2.02
31/01/2023	3.20	0.65	2.08
TOTAL	4.51	0.65	2.93



Fecha	Evaporación (mm)	Coefficiente de Tanque (Kp)	Evapotranspiración Potencial (ETo)
01/02/2023	3.00	0.65	1.95
02/02/2023	2.00	0.65	1.30
03/02/2023	4.70	0.65	3.06
04/02/2023	3.80	0.65	2.47
05/02/2023	7.50	0.65	4.88
06/02/2023	3.60	0.65	2.34
07/02/2023	3.10	0.65	2.02
08/02/2023	3.10	0.65	2.02
09/02/2023	3.40	0.65	2.21
10/02/2023	3.40	0.65	2.21
11/02/2023	2.50	0.65	1.63
12/02/2023	6.60	0.65	4.29
13/02/2023	6.10	0.65	3.97
14/02/2023	4.80	0.65	3.12
15/02/2023	6.10	0.65	3.97
16/02/2023	6.20	0.65	4.03
17/02/2023	3.20	0.65	2.08
18/02/2023	5.70	0.65	3.71
19/02/2023	4.20	0.65	2.73
20/02/2023	7.10	0.65	4.62
21/02/2023	4.50	0.65	2.93
22/02/2023	5.00	0.65	3.25
23/02/2023	4.30	0.65	2.80
24/02/2023	7.00	0.65	4.55
25/02/2023	6.00	0.65	3.90
26/02/2023	7.00	0.65	4.55
27/02/2023	7.00	0.65	4.55
28/02/2023	5.00	0.65	3.25
TOTAL	4.85	0.65	3.15



Fecha	Evaporación (mm)	Coefficiente de Tanque (Kp)	Evapotranspiración Potencial (ETo)
01/03/2023	7.00	0.65	4.55
02/03/2023	8.00	0.65	5.20
03/03/2023	8.00	0.65	5.20
04/03/2023	4.00	0.65	2.60
05/03/2023	8.00	0.65	5.20
06/03/2023	8.00	0.65	5.20
07/03/2023	5.00	0.65	3.25
08/03/2023	7.00	0.65	4.55
09/03/2023	6.00	0.65	3.90
10/03/2023	5.00	0.65	3.25
11/03/2023	5.00	0.65	3.25
12/03/2023	5.00	0.65	3.25
13/03/2023	4.00	0.65	2.60
14/03/2023	7.00	0.65	4.55
15/03/2023	4.30	0.65	2.80
16/03/2023	3.50	0.65	2.28
17/03/2023	3.70	0.65	2.41
18/03/2023	3.90	0.65	2.54
19/03/2023	3.60	0.65	2.34
20/03/2023	4.20	0.65	2.73
21/03/2023	2.20	0.65	1.43
22/03/2023	2.50	0.65	1.63
23/03/2023	3.10	0.65	2.02
24/03/2023	3.80	0.65	2.47
25/03/2023	4.10	0.65	2.67
26/03/2023	4.00	0.65	2.60
27/03/2023	4.80	0.65	3.12
28/03/2023	3.70	0.65	2.41
29/03/2023	3.30	0.65	2.15
30/03/2023	4.30	0.65	2.80
31/03/2023	4.40	0.65	2.86
TOTAL	4.85	0.65	3.15



Fecha	Evaporación (mm)	Coefficiente de Tanque (Kp)	Evapotranspiración Potencial (ETo)
01/04/2023	3.70	0.65	2.41
02/04/2023	4.00	0.65	2.60
03/04/2023	1.70	0.65	1.11
04/04/2023	4.00	0.65	2.60
05/04/2023	4.00	0.65	2.60
06/04/2023	5.00	0.65	3.25
07/04/2023	4.00	0.65	2.60
08/04/2023	3.90	0.65	2.54
09/04/2023	5.20	0.65	3.38
10/04/2023	3.80	0.65	2.47
11/04/2023	5.00	0.65	3.25
12/04/2023	4.00	0.65	2.60
13/04/2023	5.00	0.65	3.25
14/04/2023	5.00	0.65	3.25
15/04/2023	4.00	0.65	2.60
16/04/2023	3.90	0.65	2.54
17/04/2023	4.00	0.65	2.60
18/04/2023	5.00	0.65	3.25
19/04/2023	5.00	0.65	3.25
20/04/2023	4.00	0.65	2.60
21/04/2023	3.00	0.65	1.95
22/04/2023	6.00	0.65	3.90
23/04/2023	5.00	0.65	3.25
24/04/2023	5.00	0.65	3.25
25/04/2023	4.00	0.65	2.60
26/04/2023	5.00	0.65	3.25
27/04/2023	5.00	0.65	3.25
28/04/2023	4.00	0.65	2.60
29/04/2023	4.00	0.65	2.60
30/04/2023	5.00	0.65	3.25
TOTAL	4.34	0.65	2.82



Fecha	Evaporación (mm)	Coefficiente de Tanque (Kp)	Evapotranspiración Potencial (ETo)
01/05/2023	3.00	0.65	1.95
02/05/2023	4.00	0.65	2.60
03/05/2023	5.00	0.65	3.25
04/05/2023	4.00	0.65	2.60
05/05/2023	4.00	0.65	2.60
06/05/2023	5.50	0.65	3.58
07/05/2023	4.00	0.65	2.60
08/05/2023	3.00	0.65	1.95
09/05/2023	3.00	0.65	1.95
10/05/2023	3.00	0.65	1.95
11/05/2023	4.00	0.65	2.60
12/05/2023	2.00	0.65	1.30
13/05/2023	6.50	0.65	4.23
14/05/2023	2.30	0.65	1.50
15/05/2023	3.00	0.65	1.95
16/05/2023	3.00	0.65	1.95
TOTAL	3.71	0.65	2.41

ANEXO 7: Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) a partir de los métodos indirecto: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith para los cultivos de la zanahoria (*Daucus carota*) y beterraga (*Beta vulgaris*).

$$ETc = Kc * ET_0$$

FASE I (inicial)

FECHA	ET ₀ T.E.	ET ₀ P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ET _c ZANAHORIA	ET _c TANQUE E. ZANAHORIA	ET _c PENMAN M. ZANAHORIA	ET _c TANQUE E. BETERRAGA	ET _c PENMAN M. BETERRAGA
17/01/2023	2.67	3.60	0.55	0.52	1.47	1.98	1.40	1.89	
18/01/2023	3.90	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19/01/2023	4.55	3.20	1.05	1.03	4.78	3.36	4.71	3.31	
20/01/2023	2.93	3.60	0.61	0.60	1.79	2.20	1.75	2.15	
21/01/2023	4.29	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
22/01/2023	2.93	3.20	0.69	0.69	2.01	2.20	2.01	2.20	
23/01/2023	3.90	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
24/01/2023	2.28	4.50	0.38	0.38	0.87	1.72	0.87	1.72	
25/01/2023	2.41	3.40	0.56	0.57	1.35	1.91	1.37	1.94	
26/01/2023	2.28	3.70	0.43	0.44	0.98	1.59	1.00	1.63	
27/01/2023	4.03	3.70	0.82	0.81	3.30	3.03	3.27	3.01	
28/01/2023	1.30	3.30	0.19	0.19	0.24	0.62	0.24	0.62	
29/01/2023	2.41	3.10	0.50	0.51	1.21	1.56	1.23	1.59	
30/01/2023	2.02	3.40	0.46	0.47	0.93	1.58	0.95	1.61	
31/01/2023	2.08	3.40	0.52	0.52	1.08	1.76	1.08	1.76	
01/02/2023	1.95	2.40	0.65	0.66	1.28	1.57	1.30	1.59	
02/02/2023	1.30	3.50	0.18	0.18	0.23	0.62	0.23	0.62	
03/02/2023	3.06	3.20	0.97	0.95	2.96	3.10	2.90	3.04	
04/02/2023	2.47	2.80	0.94	0.94	2.32	2.63	2.32	2.63	
05/02/2023	4.88	3.50	1.58	1.56	7.68	5.52	7.62	5.47	

FASE II (Desarrollo)

FECHA	ET ₀ T.E.	ET ₀ P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	KC ZANAHORIA	ETc ZANAHORIA	ETc ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc PENMAN M. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
06/02/2023	2.34	3.90	0.72	0.71	1.69	2.82	1.66	2.77			
07/02/2023	2.02	1.80	1.41	1.40	2.85	2.54	2.82	2.52			
08/02/2023	2.02	3.40	0.78	0.77	1.58	2.66	1.56	2.63			
09/02/2023	2.21	3.60	0.84	0.84	1.87	3.04	1.86	3.02			
10/02/2023	2.21	3.50	0.91	0.90	2.01	3.19	1.98	3.14			
11/02/2023	1.63	4.00	0.31	0.31	0.50	1.23	0.50	1.23			
12/02/2023	4.29	3.50	1.30	1.30	5.59	4.56	5.59	4.56			
13/02/2023	3.97	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
14/02/2023	3.12	3.40	1.46	1.44	4.55	4.95	4.48	4.88			
15/02/2023	3.97	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
16/02/2023	4.03	3.90	0.32	0.32	1.27	1.23	1.27	1.23			
17/02/2023	2.08	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
18/02/2023	3.71	3.30	1.78	1.75	6.61	5.89	6.50	5.79			
19/02/2023	2.73	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
20/02/2023	4.62	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
21/02/2023	2.93	3.50	0.14	0.14	0.41	0.49	0.41	0.49			
22/02/2023	3.25	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
23/02/2023	2.80	3.40	1.48	1.47	4.15	5.04	4.11	5.00			
24/02/2023	4.55	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
25/02/2023	3.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
26/02/2023	4.55	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
27/02/2023	4.55	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
28/02/2023	3.25	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
01/03/2023	4.55	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
02/03/2023	5.20	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			

FECHA	ETo T.E.	ETo P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ETc TANQUE E. ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
03/03/2023	5.20	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04/03/2023	2.60	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/03/2023	5.20	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/03/2023	5.20	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07/03/2023	3.25	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FASE III (Maduración)

FECHA	ETo T.E.	ETo P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ETc TANQUE E. ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
08/03/2023	4.55	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09/03/2023	3.90	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/03/2023	3.25	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/03/2023	3.25	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/03/2023	3.25	3.40	1.18	1.18	3.83	4.01	3.83	3.83	3.83	4.01
13/03/2023	2.60	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14/03/2023	4.55	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15/03/2023	2.80	3.70	1.20	1.21	3.37	4.46	3.37	3.39	3.39	4.49
16/03/2023	2.28	4.10	0.60	0.60	1.37	2.47	1.37	1.37	1.37	2.47
17/03/2023	2.41	3.60	1.18	1.19	2.85	4.26	2.85	2.87	2.87	4.29
18/03/2023	2.54	3.90	1.08	1.13	2.75	4.23	2.75	2.86	2.86	4.41
19/03/2023	2.34	3.70	0.43	0.43	1.01	1.60	1.01	1.01	1.01	1.60
20/03/2023	2.73	3.40	1.59	1.57	4.33	5.40	4.33	4.28	4.28	5.33
21/03/2023	1.43	3.20	0.89	0.88	1.27	2.85	1.27	1.26	1.26	2.83

FECHA	ETo T.E.	ETo P.M.	KC ZANAHORIA BETERRAGA	KC BETERRAGA	ETc ZANAHORIA BETERRAGA	ETc ZANAHORIA BETERRAGA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
22/03/2023	1.63	3.60	0.73	0.71	1.19	2.63	1.15	2.63	1.15	2.63	1.15	2.55
23/03/2023	2.02	3.70	1.01	1.01	2.04	3.75	2.03	3.75	2.03	3.75	2.03	3.73
24/03/2023	2.47	3.00	1.46	1.45	3.61	4.39	3.58	4.39	3.58	4.39	3.58	4.34
25/03/2023	2.67	3.50	1.30	1.27	3.47	4.55	3.38	4.55	3.38	4.55	3.38	4.44
26/03/2023	2.60	3.50	1.33	1.31	3.46	4.66	3.41	4.66	3.41	4.66	3.41	4.59
27/03/2023	3.12	3.50	1.52	1.49	4.75	5.33	4.65	5.33	4.65	5.33	4.65	5.21
28/03/2023	2.41	3.40	1.19	1.17	2.85	4.03	2.80	4.03	2.80	4.03	2.80	3.96
29/03/2023	2.15	3.50	1.07	1.07	2.29	3.73	2.30	3.73	2.30	3.73	2.30	3.75
30/03/2023	2.80	3.40	1.42	1.41	3.98	4.84	3.93	4.84	3.93	4.84	3.93	4.78
31/03/2023	2.86	3.10	1.55	1.54	4.44	4.81	4.39	4.81	4.39	4.81	4.39	4.76
01/04/2023	2.41	3.30	1.20	1.17	2.88	3.96	2.82	3.96	2.82	3.96	2.82	3.87
02/04/2023	2.60	3.30	1.26	1.23	3.27	4.15	3.21	4.15	3.21	4.15	3.21	4.07
03/04/2023	1.11	3.50	0.50	0.48	0.55	1.75	0.53	1.75	0.53	1.75	0.53	1.69
04/04/2023	2.60	3.30	1.22	1.20	3.18	4.03	3.11	4.03	3.11	4.03	3.11	3.95
05/04/2023	2.60	3.50	1.14	1.12	2.96	3.98	2.91	3.98	2.91	3.98	2.91	3.92
06/04/2023	3.25	3.70	1.32	1.29	4.29	4.88	4.20	4.88	4.20	4.88	4.20	4.79
07/04/2023	2.60	3.30	1.17	1.14	3.04	3.86	2.97	3.86	2.97	3.86	2.97	3.77
08/04/2023	2.54	3.40	1.09	1.06	2.77	3.71	2.70	3.71	2.70	3.71	2.70	3.62
09/04/2023	3.38	3.20	1.53	1.48	5.15	4.88	5.00	4.88	5.00	4.88	5.00	4.73
10/04/2023	2.47	3.50	1.00	0.98	2.47	3.51	2.42	3.51	2.42	3.51	2.42	3.42
11/04/2023	3.25	3.70	1.23	1.19	4.00	4.55	3.88	4.55	3.88	4.55	3.88	4.41
12/04/2023	2.60	3.90	0.92	0.88	2.38	3.57	2.30	3.57	2.30	3.57	2.30	3.45
13/04/2023	3.25	3.50	1.24	1.20	4.04	4.35	3.88	4.35	3.88	4.35	3.88	4.18
14/04/2023	3.25	3.40	1.26	1.22	4.09	4.28	3.95	4.28	3.95	4.28	3.95	4.13
15/04/2023	2.60	3.60	0.94	0.91	2.45	3.39	2.37	3.39	2.37	3.39	2.37	3.28
16/04/2023	2.54	3.60	0.91	0.88	2.31	3.27	2.24	3.27	2.24	3.27	2.24	3.18
17/04/2023	2.60	3.90	0.85	0.83	2.22	3.33	2.15	3.33	2.15	3.33	2.15	3.23

FECHA	ET _o T.E.	ET _o P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ETc ZANAHORIA	ETc ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
18/04/2023	3.25	4.20	0.98	0.95	3.19	4.12	4.10	3.09	3.30	4.00
19/04/2023	3.25	3.90	1.05	1.01	3.42	4.10	4.10	3.30	3.30	3.96
20/04/2023	2.60	3.40	0.95	0.92	2.48	3.24	3.24	2.40	2.40	3.13
21/04/2023	1.95	3.80	0.64	0.62	1.24	2.41	2.41	1.20	1.20	2.34
22/04/2023	3.90	3.80	1.27	1.23	4.97	4.84	4.84	4.81	4.81	4.68
23/04/2023	3.25	3.60	1.11	1.08	3.61	4.00	4.00	3.51	3.51	3.89
24/04/2023	3.25	3.60	1.11	1.08	3.61	4.00	4.00	3.50	3.50	3.88
25/04/2023	2.60	3.50	0.90	0.88	2.35	3.16	3.16	2.28	2.28	3.06
26/04/2023	3.25	3.50	1.13	1.09	3.66	3.94	3.94	3.54	3.54	3.81

FASE IV (Final)

FECHA	ET _o T.E.	ET _o P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ETc ZANAHORIA	ETc ZANAHORIA	ETc PENMAN M. ZANAHORIA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc TANQUE E. BETERRAGA	ETc PENMAN M. BETERRAGA
27/04/2023	3.25	3.40	1.15	1.13	3.75	3.93	3.93	3.66	3.66	3.83
28/04/2023	2.60	3.40	0.92	0.89	2.39	3.13	3.13	2.32	2.32	3.04
29/04/2023	2.60	3.40	0.91	0.90	2.38	3.11	3.11	2.33	2.33	3.05
30/04/2023	3.25	3.50	1.11	1.08	3.60	3.87	3.87	3.52	3.52	3.79
01/05/2023	1.95	3.70	0.63	0.61	1.22	2.32	2.32	1.19	1.19	2.26
02/05/2023	2.60	3.30	0.93	0.91	2.42	3.07	3.07	2.38	2.38	3.02
03/05/2023	3.25	3.00	1.26	1.24	4.11	3.79	3.79	4.04	4.04	3.73
04/05/2023	2.60	3.20	0.95	0.92	2.48	3.05	3.05	2.40	2.40	2.96



FECHA	ET _o T.E.	ET _o P.M.	KC ZANAHORIA	KC BETERRAGA	ET _c ZANAHORIA	ET _c TANQUE E. ZANAHORIA	ET _c PENMAN M. ZANAHORIA	ET _c TANQUE E. BETERRAGA	ET _c PENMAN M. BETERRAGA
05/05/2023	2.60	2.60	1.17	1.15	3.03	3.03	3.03	3.00	3.00
06/05/2023	3.58	2.60	1.60	1.57	5.71	4.15	4.15	5.63	4.09
07/05/2023	2.60	2.80	1.07	1.05	2.77	2.98	2.98	2.73	2.94
08/05/2023	1.95	2.20	1.02	1.01	1.99	2.24	2.24	1.96	2.21
09/05/2023	1.95	2.20	1.01	0.99	1.96	2.21	2.21	1.93	2.18
10/05/2023	1.95	2.60	0.85	0.84	1.67	2.22	2.22	1.65	2.20
11/05/2023	2.60	2.70	1.09	1.09	2.84	2.95	2.95	2.83	2.94
12/05/2023	1.30	2.30	0.64	0.63	0.83	1.47	1.47	0.82	1.46
13/05/2023	4.23	2.20	2.17	2.12	9.16	4.77	4.77	8.94	4.66
14/05/2023	1.50	2.30	0.74	0.72	1.10	1.69	1.69	1.08	1.66
15/05/2023	1.95	2.70	0.81	0.79	1.57	2.18	2.18	1.54	2.13
16/05/2023	1.95	3.20	0.64	0.63	1.26	2.06	2.06	1.22	2.01

Nota: Requerimiento hídrico a partir de los métodos indirectos: tanque de evaporación y la ecuación de la FAO Penman Monteith.

ANEXO 8: Memoria fotográfica



Foto 1. Trabajos preliminares en el área de investigación.



Foto 2: Colocación de grava gruesa de $\varnothing 1''$, al fondo del lisímetro por un espesor de 04 cm.



Foto 3. Llenado de Lisímetro de drenaje con grava fina de $\varnothing \frac{1}{2}$ " encima de la grava gruesa por un espesor de 4 cm.



Foto 4. Colocación de la malla raschel por encima de la grava fina y posteriormente el llenado del lisímetro con el estrato de suelo excavado.



Foto 5. Lisímetros de drenaje instalados con una distancia de 5 cm a la zona de recolección de agua drenada.

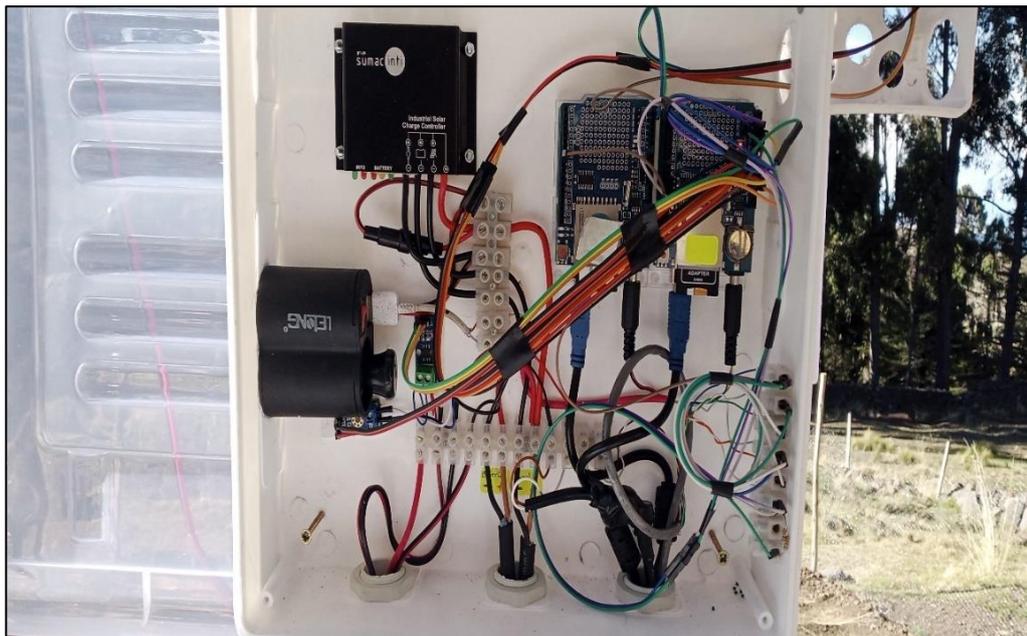


Foto 6: Sistema Arduino instalado al costado de la parcela experimental.



Foto 7. Terreno ya surcado en camas bajas con protección al perímetro con malla mosquitera de metal.



Foto 8. Siembra de la semilla de beterraga (*Beta vulgaris*), una semilla cada 15 cm con profundidad de 01 cm y siembra al voleo de la semilla de la zanahoria (*Daucus carota*).



Foto 9. Acondicionamiento del sistema arduino, pluviómetro y tanque de evaporación en el área de estudio.



Foto 10. Fumigación contra plagas.



Foto 11. Medición del agua drenada extraída de la zona de recolección.



Foto 12. Toma de datos de la zona de estudio.



Foto 13. Descarga de datos registrados por el sistema arduino.



Foto 14. Aplicación del riego mediante un difusor de agua.



Foto 15. Cosecha del cultivo de la beterraga (*Beta vulgaris*) – 17/05/2023 (121 DDS).



Foto 16. Cosecha del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*) – 17/05/2023 (121 DDS).



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo LUZ DYANIRA AMANQUI FLORES,
identificado con DNI 73263220 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:

"REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS DE LA ZANAHORIA (Daucus
carota) Y BETERRAGA (Beta vulgaris) MEDIANTE TRES MÉTODOS EN EL DISTRITO
DE CHUCUITO - PUNO"

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.

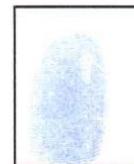
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

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 04 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JERSON CRUZ MARAZA,
identificado con DNI 76693930 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:

“ REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA (*Daucus carota*) Y
BETERRAGA (*Beta vulgaris*) MEDIANTE TRES MÉTODOS EN EL DISTRITO DE CHUCUITO
- PUNO ”

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 04 de OCTUBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo LUZ DYANIRA AMANQUI FLORES identificado con DNI 73263220 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:

“REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA (*Daucus carota*) Y BETERRAGA (*Beta vulgaris*) MEDIANTE TRES MÉTODOS EN EL DISTRITO DE CHUCUITO – PUNO”

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 04 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo JERSON CRUZ MARAZA,
identificado con DNI 76693920 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:

“ REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS DE ZANAHORIA (*Daucus carota*) Y
BETERRAGA (Beta vulgaris) MEDIANTE TRES MÉTODOS EN EL DISTRITO DE CHUCUITO
- PUNO ”

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 04 de OCTUBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella