

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



DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) DE
LA PAPA CANCHAN (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303
UTILIZANDO LISÍMETRO DE DRENAJE EN EL ANEXO INCAPU
DEL DISTRITO DE SHILLA – CARHUAZ, 2020.

Presentado por:

BACH. ROSAS TAFUR, Jhon Mario

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Huaraz – Perú

2022



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: _____

Código de alumno: _____

Teléfono: _____

E-mail: _____

D.N.I. n°: _____

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Para optar el Título Profesional de:

4. Título del trabajo de investigación:

5. Facultad de: _____

6. Escuela o Carrera: _____

7. Línea de Investigación (*): _____

8. Sub-línea de Investigación (*): _____

() Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

9. Asesor:

Apellidos y nombres _____ D.N.I n°: _____

E-mail: _____ ID ORCID: _____

10. Referencia bibliográfica: _____

11. Tipo de acceso al Documento:

Acceso público* al contenido completo.

Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:



12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



ROSAS TAPUR, JHON MARIO

Firma del autor

13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.

14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



Varillas William Eduardo
Asistente en Informática y Sistemas
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, se reunieron a través de la plataforma virtual Microsoft Teams para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola **JHON MARIO ROSAS TAFUR**, denominado: **"DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DE LA PAPA CANCHAN (*Solanum tuberosum* L.) INIA - 303 UTILIZANDO LISIMETRO DE DRENAJE EN EL ANEXO INCAPU DEL DISTRITO DE SHILLA – CARHUAZ, 2020"**, y patrocinado por el Dr. Teófanos Mejía Anaya, Escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADA

CON EL CALIFICATIVO (*)

QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condición de ser calificado APTO por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 26 de Abril de 2022.

Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA

PRESIDENTE

Mag. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR

SECRETARIO

Mag. HUGO MENDOZA VILCAHUAMÁN

VOCAL

Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA

PATROCINADOR

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18), APROBADO (14 - 16), DESAPROBADO (00 - 13).



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD VIRTUAL DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar el trabajo final de investigación de la Tesis denominada: "**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DE LA PAPA CANCHAN (*Solanum tuberosum* L.) INIA - 303 UTILIZANDO LISIMETRO DE DRENAJE EN EL ANEXO INCAPU DEL DISTRITO DE SHILLA – CARHUAZ, 2020**", presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **JHON MARIO ROSAS TAFUR**, sustentada vía la plataforma virtual Microsoft Teams el día 26 de Abril del 2022, respaldada mediante **Resolución Decanatural N.º 192-2022-UNASAM-FCA**, la declaramos **CONFORME**.

Huaraz, 25 de Mayo de 2022

Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA

PRESIDENTE

Ing. FRANCISCO ESPINOZA MANCISIDOR

SECRETARIO

Mag. HUGO MENDOZA VILCAHUAMÁN

VOCAL

Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA

PATROCINADOR

DEDICATORIA

*A Dios, por ayudarme a continuar,
aunque el camino no fuera fácil y
despejado.*

*Esta tesis está dedicada a: mis padres
Marcos y Julia quienes con su amor,
paciencia y esfuerzo me han permitido
llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias
por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y
valentía, de no temer las adversidades
porque Dios está conmigo siempre.*

AGRADECIMIENTO

agradecer a mi alma mater la universidad nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” y a mis jurados al Ing. Pedro Colonia Cerna, Ing. Francisco Espinoza Mancisidor y al Ing. Hugo Mendoza Vilcahuaman por brindarnos su apoyo y darnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica durante todo el proceso de la elaboración del proyecto de tesis.

a mi asesor el Dr. Mejía Anaya, Teófanés, por su ayuda constante, comprensión y paciencia para conducir y concluir la tesis de la mejor forma.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Justificación de la investigación	2
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. Descripción de la papa	6
2.2.2. Necesidades del cultivo de papa	9
2.2.3. Necesidad de riego para los cultivos	13
2.2.4. Coeficiente de cultivo	16
2.2.5. Cálculo del coeficiente de cultivo	19
2.2.6. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o)	21
2.2.7. Métodos de Penman – Monteith	22
2.2.8. Datos meteorológicos	25
2.2.9. Estación meteorológica	27

2.2.10. Evapotranspiración en el cultivo.....	28
2.2.11. Propiedades físicas del suelo.....	34
2.2.12. Estimación de datos faltantes de parámetros climáticos	41
III. MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1. Ubicación.....	43
3.1.1. Descripción del área experimental.....	43
3.1.2. Condiciones meteorológicas del lugar de estudio	44
3.2. Materiales.....	44
3.2.1. Material genético	44
3.2.2. Variables Climáticos	44
3.3. Material Experimental.....	45
3.3.1. lisímetro	45
3.3.2. Construcción del lisímetro	45
3.3.3. Instalación y desarrollo del cultivo a investigar	51
3.4. Metodología	53
3.4.1. Análisis físico – químico del suelo	53
3.4.2. Métodos de medición del contenido de agua en el suelo	53
3.4.3. Determinación de ETc por el método del lisímetro	53
3.4.4. Determinación de Kc método lisímetro	54
3.4.5. Estimación de ETP por los métodos indirectos	54
3.4.6. Estimación de fases fenológicas planteadas por la FAO.....	54
3.4.7. Cálculo de la precipitación	55
3.4.8. Cálculo de la demanda de agua del cultivo	56
3.4.9. Conducción el experimento	56
3.4.10. Frecuencia de riego.....	57
3.4.11. Riego y drenaje	57
3.4.12. Balance hídrico en el lisímetro	60

3.4.13. Balance hídrico en el lisímetro	61
3.4.14. Metodología para la obtención de ETc del PAPA	62
3.4.15. Estimación del coeficiente de cultivo (Kc).....	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. Humedad en el suelo	64
4.1.1. Cálculo del contenido de agua a Capacidad de Campo (CC)	64
4.1.2. Punto de Marchitez Permanente (PMP).....	64
4.2. Desarrollo del Cultivo de Papa	64
4.3. Análisis de textura y fertilidad de suelo	64
4.4. Condiciones Ambientales.....	65
4.5. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)	69
4.6. Balance Hídrico	70
4.7. Evapotranspiración del cultivo real (ETc).....	71
4.8. Duración de etapa fenológica del cultivo de papa canchan y duración del proyecto.	72
4.9. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)	72
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	75
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
VIII. ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva generalizada del coeficiente de cultivo.....	19
Figura 2. Evapotranspiración de cultivo de referencia	22
Figura 3. Características del cultivo de referencia.....	23
Figura 4. Tipos de lisímetro: de drenaje, freático y de pesaje	32
Figura 5. Balance de Agua en la zona radicular.	33
Figura 6. Esquema del lisímetro de drenaje.....	46
Figura 7. Excavación de terreno para la instalación de lisímetro de drenaje.....	47
Figura 8. Tanque utilizado para la construcción del lisímetro de drenaje	48
Figura 9. uso de grava como material filtrante	48
Figura 10. Colocación de suelo propio	49
Figura 11. Zona de recolección de agua drenada.....	51
Figura 12. Siembra en el lisímetro.....	52
Figura 13. Abonada con guano de cuy.	52
Figura 14. Cálculo de coeficiente de cultivo	55
Figura 15. Techado de área de cultivo de papa en el lisímetro con eternit transparente	
Figura 16. Temperatura máxima estimada con las estaciones cercanas	66
Figura 17. Temperatura Mínima del proyecto (Shilla).	66
Figura 18. Temperatura mínima y máximo del proyecto de investigación (estación del proyecto).	68
Figura 19. Registro de la radiación solar durante la investigación.	68
Figura 20. Registro de la velocidad del viento corregida a 2m de altura	69
Figura 21. Eto (mm/día) estimado en la localidad de incapu	70
Figura 22. Coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de papa Canchan	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la papa Canchan.	8
Tabla 2. <i>Dosis de fertilizantes recomendados.</i>	12
Tabla 3. <i>Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.</i>	18
Tabla 4. Factor de disponibilidad del agua del suelo o Umbral de Riego	39
Tabla 5. Datos meteorológicos estimados a través de estaciones cercanas.	44
Tabla 6. <i>Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.</i>	54
Tabla 7. Análisis de Fertilidad del Suelo en el área experimental.....	65
Tabla 8. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET _o)	69
Tabla 9. Evapotranspiración del cultivo real (ET _c).	71
Tabla 10. Coeficiente de cultivo (kc).....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Velocidad de viento estimación para el proyecto	82
Anexo 2: Velocidad del viento (m/s)	83
Anexo 3: Velocidad del viento para los siguientes meses	84
Anexo 4: Relación del viento con la altura	84
Anexo 6: Radiación extraterrestre (Ra) para el mes de enero	85
Anexo 7: Radiación extraterrestre (Ra)(MJ/día)	85
Anexo 8: Radiación solar(MJ/m²/día)	86
Anexo 9: Humedad relativa(%)	86
Anexo 10: Humedad vs Altitud enero	87
Anexo 11: Humedad vs altitud de cada mes	88
Anexo 12: Humedad media mensual (E) en función a la altitud(H)	89
Anexo 13: Humedad relativa media mensual	89
Anexo 14: Temperatura mínima(°C)	90
Anexo 15: Temperatura vs altitud enero	90
Anexo 16: Temperatura vs altitud de cada mes	91
Anexo 17: Temperatura media mensual (E) en función de la altitud (H)	92
Anexo 18: Temperatura media mensual	92
Anexo 19: Temperatura mínima(°C)	93
Anexo 21: Temperatura vs altitud	94
Anexo 22: Temperatura vs altitud de cada mes	95
Anexo 23: Temperatura media mensual (E) en función de la altitud (H)	96
Anexo 24: Temperatura media mensual	96
Anexo 25: Estimación de temperatura máxima	97
Anexo 27: ETo de cada mes	99
Anexo 28: Eto(mm/día)	100
Anexo 29: Análisis de suelo	102
Anexo 30: Panel fotográfico excavación	103
Anexo 31: Panel fotográfico de la instalación de lisímetro	106
Anexo 32: Panel fotográfico de la conducción del cultivo de papa	109

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación ha sido determinar el coeficiente de cultivo (K_c) de la papa canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 utilizando lisímetro de drenaje en el anexo Incapu del distrito de Shilla – Carhuaz, 2020.

La metodología ha consistido en diseñar y construir un lisímetro de drenaje, dentro del cual se ha llenado el suelo, tratando de no disturbarlo las características de la textura y estructura de perfil del suelo; se procedió a sacar las muestras de suelo para luego llevar al laboratorio de la facultad de ciencias agrarias de la UNASAM; se regó con una frecuencia de riego $Fr=7$ días esto considerando el riego de la localidad.

Se estimó los parámetros climáticos regionalizando con las estaciones más cercanas del proyecto ya que se desconoce los datos del lugar, donde se estimó con la ecuación lineal y polinómica para los datos climáticos, tales como: temperaturas mínimas y máximas, humedad relativa, velocidad de viento, radiación extraterrestre. Con la fórmula de FAO se determinó el E_{To} del cultivo.

Para calcular el coeficiente de cultivo de la papa Canchan, se determinó la evapotranspiración de cultivo de referencia (E_{To}) mediante el método de Penman-Monteith del FAO y la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) se determinó mediante el balance hídrico realizando en el lisímetro del drenaje; obteniendo los siguientes valores del coeficiente del cultivo (K_c) de la papa Canchan. Fase inicial: $K_c=0.48$; fase de desarrollo $K_c=0.86$; Fase media $k_c=1.06$ y fase final $k_c= 0.47$. La fase inicial, desarrollo, media y final tuvieron una duración de 25,30,45 y 30 días respectivamente, obteniéndose un coeficiente de cultivo promedio de $k_c=0.72$ para un periodo vegetativo de 130 días de cultivo de la papa canchan.

Palabras Clave: Coeficiente de cultivo, Lisímetro de Drenaje, Papa.

ABSTRACT

The objective of the present investigation has been to determine the crop coefficient (K_c) of the canchan potato (*Solanum tuberosum* L.) INIA-303 using drainage lysimeter in the Incapu annex of the Shilla - Carhuaz district, 2020.

The methodology has consisted of designing and building a drainage lysimeter, within which the soil has been filled, trying not to disturb the characteristics of the texture and structure of the soil profile; Soil samples were taken and then taken to the laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences of UNASAM; it was watered every 7 days uses and customs of the locality.

The climatic parameters were estimated regionalizing with the closest stations of the project since the data of the place is unknown, where it was estimated with the linear and polynomial equation whether they are minimum and maximum temperatures, relative humidity, wind speed, extraterrestrial radiation with the formula of FAO and finally the E_{To} of the crop was determined.

To calculate the crop coefficient of the Canchan potato, the reference crop evapotranspiration (E_{To}) was determined using the FAO Penman-Monteith method and the crop evapotranspiration (E_{Tc}) was determined using the water balance performed in the lysimeter of the crop. sewer system; obtaining the following values for the K_c of the Canchan potato crop. Initial phase: $K_c=0.48$; development phase $K_c=0.86$; Middle phase $k_c=1.06$ and final phase $k_c=0.47$. The initial, development, middle and final phases lasted 25, 30, 45 and 30 days respectively, obtaining an average crop coefficient of $k_c=0.72$ for a vegetative period of 130 days of canchan potato cultivation.

Keywords: Crop Coefficient, Drainage Lysimeter, Potato.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y más de 3,000 variedades, de las 5,000 que existen en Latinoamérica, además de que posee 91 de las 200 especies silvestres del continente, y que generalmente no son comestibles por su sabor amargo y alta toxicidad; sin embargo, son las que han dado origen a las variedades domesticadas que hoy se consumen en el planeta (Centro Internacional de la Papa, 2019).

Dentro de la cantidad de especies antes mencionada, se encuentra la papa denominada Canchan, también conocida como papa rosada por el color característico de su cáscara, la cual se ha tomada para esta investigación por su precocidad y alto potencial de rendimiento, tubérculos de color rojizo y sobre todo su tolerancia al tizón tardío o ranchara (*Phytophthora infestans*), enfermedad que ocasiona la mayor cantidad de pérdidas en el cultivo de la papa. (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2012)

En la actualidad se destaca el problema de la deficiencia de agua, el cual es un recurso natural imprescindible para el desarrollo de los cultivos, dificultad que se debe a que el crecimiento acelerado por las demandas hídricas para la producción agrícola se está limitando tanto cuantitativa como cualitativamente, motivo que exige tener un control eficiente y uso racional del agua en los sistemas de riego (Pérez, Lahera, Manrique, Victoria & Díaz, 2010).

El requerimiento hídrico están sujetos a varios factores: condiciones climatológicas y la fase de desarrollo del cultivo, características físicas del suelo. (Mossande, Manrique & Cervantes, 2015)

La agricultura y la producción de alimentos son particularmente actividades que mayor demanda de agua presentan a escala mundial, debido a que el uso de esta para el riego

representa el 70% de la demanda hídrica total, con una eficiencia de uso inferior al 40%. Por ello, es de gran importancia conocer la evapotranspiración de los cultivos, la cual es esencial para una eficiente aplicación y frecuencia del riego según los requerimientos que caracteriza a cada uno, pues un uso adecuado del riego nos permite alcanzar mejores rendimientos y sostenibilidad, minimizando la pérdida del recurso hídrico. Debido a todo lo antes expresado, se identifica como necesidad el establecer el valor del coeficiente de cultivo de papa canchan, puesto que existe el cálculo sobreestimado de la lámina de riego, siendo este requerido para planificar y programar el proceso de riego en las etapas fenológicas del cultivo. (Puppo & García, 2010)

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar el coeficiente de cultivo (K_c) de la papa canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 utilizando lisímetro de drenaje en el anexo Incapu del distrito de Shilla – Carhuaz, 2020.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la evapotranspiración del cultivo de la papa canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 utilizando lisímetro de drenaje en el anexo Incapu del distrito de Shilla – Carhuaz, 2020.
- Determinar los valores del coeficiente de cultivo de papa canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 en las diferentes etapas fenológicas en anexo Incapu del distrito de Shilla – Carhuaz, 2020.

1.2. Justificación de la investigación

Respecto a la presente investigación, esta se justifica por la viabilidad con la que cuenta, puesto que el desarrollo fue de un costo económico y humano no muy elevado

que fue asumido voluntariamente por el investigador, que tuvo como único propósito realizar este estudio porque responde a una necesidad de la localidad y que sirva como guía para determinar el Kc en otros cultivos y para diferentes lugares mediante el mismo método.

Es importante realizar estudios de determinación de coeficientes de cultivo (Kc) teniendo en consideración aspectos bajo los cuales se pretende producir (temperatura, tipo de suelo, entre otros), ya que el requerimiento de agua del cultivo es indispensable para que este realice todos sus procesos vitales. La determinación del Kc en las distintas etapas fenológicas del cultivo ayudará a mejorar la eficiencia en la incorporación de la necesidad hídrica del cultivo, debido a que proveen al cultivo solo la cantidad de agua necesaria, por lo que un exceso de agua de riego puede provocar el lavado de los fertilizantes y el desperdicio del agua misma, mientras que una aportación de agua inferior a las necesidades de consumo del cultivo puede llegar a provocar déficit hídrico y con ello una reducción en la producción.

El uso del lisímetro nos permite obtener la evapotranspiración del cultivo, siendo el lisímetro de drenaje el más usado para esta investigación debido a que resulta ser más económico y sencillo. Para la construcción del lisímetro de drenaje se debe tomar los siguientes factores: estabilidad, confiabilidad, sencillez y economía.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Llumiluisa (2017), en su investigación denominada “Determinación del coeficiente de cultivo (kc) para tomate (*Lycopersicon esculentum l.*), bajo invernadero en la granja Santa Inés”, realizada en para la Universidad Técnica de Machala – Ecuador, para optar el título de Ingeniero Agrónomo, la cual tuvo como objetivo determinar la curva de coeficiente de cultivo (KC), mediante el método del lisímetro de pesada para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon L.*) durante sus etapas fenológicas. El tipo de investigación fue experimental, efectuando la implementación de camas de acuerdo con el sistema de siembra establecido del cultivo, dando un total de 16 camas, cada una con 3 unidades, obteniendo un total de 48 unidades experimentales. Finalmente concluyó que, se obtuvieron el coeficiente de cultivo de cultivo para cada una de las etapas fisiológicas, los cuales fueron: etapa inicial 0.55; etapa de desarrollo de 1.05; etapa de mediados de desarrollo 1.11 y etapa final 0.75. El periodo vegetativo del cultivo está influenciado por diversos factores (tipo de variedad, densidad de siembra, condiciones climáticas y manejo). En el trabajo experimental los requerimientos hídricos obtenidos para cada fase de desarrollo del cultivo fueron: inicial 0,35 litros/planta; desarrollo 1,98 litros/planta; mediados de desarrollo 2,21 litros/planta y final 0,97 litros/planta. Por último, los valores obtenidos del coeficiente de cultivo en este trabajo experimental frente a los propuestos por la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), mantienen una correlación alta positiva de $R^2= 0.98$.

Antecedentes nacionales

Canllahui (2014), en su tesis denominada “Determinación de la evapotranspiración y coeficiente de cultivo (kc) en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Silver en el CIP Illpa-Puno”, realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, la cual tuvo como objetivo determinar la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo (Kc) en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. Silver en el CIP-Illpa-Puno. La metodología fue experimental, para la determinación de ETC por el método directo se utilizó el lisímetro del tipo NFC, instalando el tanque de cultivo con un área de 1.44 m² siendo el área experimental, realizando la siembra del cultivo de papa a un distanciamiento de 0.70 m entre surcos, 0.25 m entre plantas y a una profundidad de siembra de 0,20 m. En cuanto a las conclusiones, se expresa que la evapotranspiración del cultivo de papa está relacionada directamente en función a su periodo vegetativo que se da en 152 días, obteniendo un resultado de 610,76 mm de lámina hídrica para el método directo del lisímetro y para los métodos indirectos un máximo de 588,87 mm; por otra parte, el coeficiente de cultivo (Kc) por el método de lisímetro varía, puesto que está en función a la duración del periodo vegetativo de acuerdo a sus fases fenológicas, observando la fase de emergencia con un Kc de 0,46 siendo el valor mínimo, mientras que en la fase final de la floración se tiene un Kc de 1,8 siendo el valor máximo, durante el periodo vegetativo de 152 días, mostrándonos una ligera variación en cuanto a la estimación de coeficiente de cultivo (Kc) para la metodología propuesta por la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, con un Kc de 0,50 para la fase de emergencia siendo el valor mínimo y para la fase de inicio de floración con un Kc de 1,13 siendo el valor máximo.

Garrafa (2017), en su investigación denominada “Cálculo de la demanda hídrica en el cultivo de papa variedad canchan (*Solanum tuberosum*) bajo riego por goteo en condiciones del Centro Agronómico Kayra - San Jerónimo - Cusco”, realizada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, la cual tuvo como objetivo calcular la demanda hídrica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), mediante el sistema de riego por goteo en condiciones agroclimáticas del centro Agronómico kayra. Sobre la metodología de la investigación, esta fue experimental – descriptiva, donde el procedimiento para distribuir el kc fue dividido en 9 fases, (un sector comprendido de 10 días), debido a que el periodo vegetativo promedio es de 153 días (31 días en pre emergencia y 122 días en desarrollo). En cuanto a las conclusiones se obtuvo que, con la ayuda del Tanque Clase A y la planilla de manejo de riego se calculó que la demanda hídrica del cultivo de papa es de 2642.2 m³ /ha, el cual es requerido durante una etapa de desarrollo de 153 días. El cultivo de papa no puede perder más del 25 % de agua de su capacidad de campo, niveles por debajo de este porcentaje reducen el rendimiento del cultivo de papa. El rendimiento del cultivo de papa variedad canchan, fue de 39990 kg/ha con el factor de agotamiento de 0.25.

Antecedente local

En el escenario local, posterior a la revisión de los diversos repositorios de las universidades, no se encontraron investigaciones que guarden relación con el tema de investigación.

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Descripción de la papa

Segun Martín (2019), la papa (*Solanum tuberosum L.*) es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con

tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz.

Así mismo Zanabria & Benegas (1997), mencionan que la papa es uno de los alimentos más importantes para el hombre en términos de tonelaje total de la producción mundial, la papa se encuentra en el cuarto lugar después del trigo, arroz, y maíz a nivel mundial.

En el Perú se cultivan entre 220,000 a 260,000 Has. De papa dependiendo de las condiciones climatológicas y la disponibilidad de precio conveniente al productor, al área cultivada se distribuye bajo condiciones ecológicas y tecnológicas muy variables e incluye alrededor de 10 especies y un número elevado de variedades mejoradas y nativas. (Canllahui,2014,pág.34)

La papa tiene una gran capacidad de adaptación a diferentes medios ecológicos, se cultiva desde el nivel del mar (costa) hasta los 4200 m.s.n.m. en los andes altos. Las áreas de mayor concentración de cultivo de papa se encuentran en la sierra con 95.3% mientras que en la costa y selva están únicamente el 4.3% y 0.4% respectivamente, el 86% del área cultivada en la sierra se conduce en secano y tan solo el 14 % bajo sistema de riego lo que indica que la mayor parte de área de cultivo de papa en nuestro país depende del régimen de precipitaciones pluviales. (Canllahui,2013, pág.23)

En cuanto a su taxonomía de acuerdo a Solano (2000), su clasificación es:

Tabla 1. *Taxonomía de la papa Canchan.*

Reino	Vegetal
Sub reino	Phanerogamae
División	Espermathophita
Sub división	Angiospermas
Clase	Dycotyledoneae
Sub clase	Metharchychlamydae
Orden	Serophulariales
Familia	Solanaceae
Género	Solanum
Sub género	Pachistamanum
Sección	Petata
Sub sección	Potatae
Serie	Tuberosa
Especie	Solanum Tuberosum
Variedad	Canchan

Fuente: Solano, 2000, pág.20

La planta de la papa es un conjunto de tallos aéreos y subterráneos, el tallo principal se origina del brote del tubérculo semilla, el tallo secundario se origina de una yema subterránea del tallo principal, el tallo estolonifero se origina de un estolón que forma contacto con la luz, la rama se origina de una yema aérea del tallo principal, el estolón transportan sustancias que se trasladan desde el follaje, el tubérculo es el tallo que almacena sustancias; entonces, la planta de papa es un conjunto de tallos especializados para sostener hojas y flores (tallos aéreos), transportar azúcares (estolones) y almacenar almidones (tubérculo).(Egusquiza, 2000)

Egusquiza (2000), en cuanto a su hoja, esta se define como una estructura que sirve para captar y transformar la energía lumínica (luz solar) en energía alimenticia (azúcar y almidón), la superficie de las hojas es la fuente que utiliza la planta de papa para el crecimiento, y almacenamiento (producción). Es

importante mantenerla sana el tiempo más largo posible. Así mismo la flor cumple funciones de reproducción sexual que, desde el punto de vista agrícola, importancia para la diferenciación y reconocimiento de variedades, las flores se presentan en grupos que conforman la inflorescencia; cada flor se presenta al final de las ramificaciones del pedúnculo floral (pedicelos), el pedicelo está dividido en dos partes por un codo denominado articulación de pedicelo o codo de abscisión.

Egusquiza (2000), el fruto o baya de la papa se origina por el desarrollo del ovario. La semilla, conocida también como semilla sexual el ovulo fecundado, desarrollado y maduro; el número de semillas por fruto puede variar desde cero (nada) hasta 400, cada semilla tiene la facultad de originar una planta que, adecuadamente aprovechada puede producir cosechas satisfactorias.

Finalmente, el tubérculo es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido y orientado hacia los costados (expansión lateral). El tubérculo de papa es el tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de los excedentes de energía (almidón); el tubérculo es “fruto” agrícola producto del trabajo, dedicación, responsabilidad del “papero” y de las condiciones favorables del ambiente donde ha crecido. (Egusquiza & Catalan, 2011)

2.2.2. Necesidades del cultivo de papa

- a) **Suelo.** Las papas pueden crecer casi en todo tipo de suelo, salvo donde son salinos o alcalinos. Los suelos naturalmente sueltos que ofrecen menos resistencia al crecimiento de los tubérculos son los más convenientes, y los suelos arcillosos o de arena con arcilla y abundante materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, son los mejores. Se considera ideal un ph de 5.2-

6.4 en el suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2008)

- b) Luz.** La intersección de luz por el cultivo depende de la intensidad lumínica de la arquitectura del follaje (planofila o erectofila), de la edad de las hojas y porcentaje del suelo cubierto por el follaje. El proceso fotosintético se efectúa cuando los rayos del sol inciden sobre la totalidad de las hojas verdes y no sobre el suelo desnudo. La asimilación bruta de la papa en un día luminoso pleno (50000 lux) a 18-20° es de 1.92 gCO₂ por metro cuadrado de área foliar por hora, con una concentración de 0.03% de CO₂. Esto equivale a un rendimiento neto potencial de 1.23g de materia seca (Jimenez, 2010).
- c) Fotoperiodo.** Con respecto a la respuesta a la longitud del día o fotoperiodo, la misma depende de la subespecie y variedad considerada. La subespecie *tuberosum* requiere para desarrollar su área foliar, de fotoperiodo largo (más de 14 horas de luz) y un proceso de tuberización (formación y engrosamiento de los tubérculos) de fotoperiodo corto (menos de 14 horas de luz). La sub especie indígena, por el contrario, tuberizan adecuadamente bajo condiciones de día corto y al ser llevada a condiciones de fotoperiodo largo el periodo de crecimiento se alarga excesivamente, florece profusamente, pero no tuberiza o lo hace escasamente, es decir, produce tubérculos pequeños (Jimenez, 2010).
- d) Temperatura.** Para una adecuada producción de papa el clima debe ser frío. En la zona en la que se desea sembrar papa debe existir por lo menos dos meses en los que las temperaturas promedio diarias deben ser menores a 25° C. El tubérculo en latencia inicia su brotación y emergencia en forma lenta a 5°C y se maximiza a los 14-16°C. Esto es importante considerar en la época

de plantación ya que esta se debe iniciar cuando la temperatura del suelo haya alcanzado por lo menos 7-8°C.(Egusquiza, 2000)

e) **Proceso de siembra.** El proceso de siembra inicia mediante la preparación del terreno que de acuerdo a Cahuana y Arcos (1993), se debe realizar en los meses de marzo y abril cuando el suelo entra en un periodo de descanso. Los meses de mayo y junio después de la cosecha del cultivo anterior se considera como suelos de rotación sucesiva. Así mismo Naranjo (1991), menciona que la profundidad de siembra se refiere a la longitud que debe existir entre el borde superior de la semilla sembrada (enterrada) con la parte exterior del suelo se considera una adecuada profundidad entre (10-20 cm). El distanciamiento de siembra de tubérculos semilla de papa es la longitud de separación entre los surcos (distancia entre surcos) y entre semilla (distancia dentro del surco) cuyos valores tradicionales es 1 metro entre surco y entre semilla 30 cm. Haciendo uso de maquinaria agrícola en zonas donde la topografía y la extensión del terreno son accesibles y con tracción animal (yunta) en laderas, pies de laderas y en pequeñas parcelas. La papa requiere suelos profundos, de textura franco arenoso, de buen nivel de fertilidad, con pH de 5.6 a 6.5 ligeramente ácido y prospera inclusive a pH de 4.5 a 8.5. (Egusquiza, 2000)

De acuerdo a Egusquiza (2000), el distanciamiento más correcto es aquel en el que se logra los siguientes resultados:

- Utilización máxima de la superficie del suelo.
- Máximo aprovechamiento de la energía lumínica (luz solar).
- Follaje que no cree condiciones para daños de plagas o enfermedades.

- Follaje que no incremente daños de accidentes climáticos (sequias, heladas).

La incorporación de los abonos orgánicos se debe efectuar en su debida oportunidad, 2 a 3 meses antes de la siembra para conseguir la descomposición de la materia orgánica y una adecuada liberación de los nutrientes. Esta incorporación se realiza antes de la siembra para favorecer la humificación y evitar la toxicidad por el efecto de la fermentación (Naranjo, 1991).

A su vez los fertilizantes son las fuentes sintéticas de nutrientes. Los fertilizantes de mayor importancia por mayor requerimiento son el Nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) conocidos como NPK. Los fertilizantes son simples cuando aportan un solo elemento o nutriente y compuestos cuando aportan más de un nutriente (Naranjo, 1991).

De acuerdo con Pérez & Forbes (2011), la dosis de fertilización debe de ser:

Tabla 2. *Dosis de fertilizantes recomendados.*

Rangos de dosis NPK recomendados	
Nitrógeno	180 – 200 kg/ha
Fósforo	140 – 200 kg/ha
Potasio	120 – 160 kg/ha

Fuente: Pérez & Forbes, 2011.

De acuerdo con Egusquiza y Catalán (2011), se debe realizar dos aporques durante el ciclo del cultivo de la planta, el primero llamado medio aporque que se efectúa de los 60 a 80 días, el segundo aporque propiamente dicho que se realiza a los a los 90 días o al inicio de la floración, labores que se realizan con

el objetivo de dar mayor sostén a la planta y favorecer la formación de tubérculos, dentro del suelo, para la cual se incorpora una capa de suelo. Y a su vez se debe realizar el deshierbo cada vez que se presenten las malezas, esto es, con el propósito de mantener el campo de cultivo limpio, esta labor se hace en forma manual o también en forma mecanizada, así mismo se puede utilizar herbicidas que se encuentren a disposición de los agricultores.

2.2.3. Necesidad de riego para los cultivos

El conocimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos ayuda a los cultivadores e investigadores a mejorar la gestión de las actividades de campo, tales como los eventos de riego. Sin embargo, el requisito de agua de riego es la cantidad total de agua necesaria, además de la precipitación, para satisfacer la pérdida por evapotranspiración del cultivo (ETC). (Vinicius, Vieira, Lourenço, Luiz, Ribeiro, Silva, & Junior, 2016)

Respecto a ello Serruto (2003), indica que el índice o cantidad de consumo de agua por los cultivos y las características de retención del agua, es fundamental para diseñar el suministro de agua y programar el proyecto de riego. Además, manifiesta que las cantidades relativas de agua retirada desde el suelo por el proceso de evapotranspiración, son de gran interés, especialmente en regiones de lluvias limitadas, siendo necesaria la determinación de la cantidad de agua que se requiere para el riego de los cultivos bajo diferentes condiciones de suelo, abastecimiento de agua, intensidad del cultivo, etc.

El suelo es un sistema heterogéneo, compuesto por elementos sólidos (minerales y orgánicos) y espacios vacíos, ambos se encuentran en proporciones diferentes que le dan características, la cual es función de su textura y estructura (Benitez, 1980).

Respecto al agua en el suelo Fuentes (1997), dice que desde el punto de vista de su utilización por las plantas, el agua del suelo se clasifica así: Agua sobrante, agua disponible y agua no disponible. El agua disponible y/o asimilable cualitativamente se define como la parte del agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el aireamiento normal de las plantas que viven en el suelo.

a) Evaporación

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006) ,en su estudio de riego y drenaje N° 56, la evaporación es el proceso por el cual el agua cambia de fase líquida a fase de vapor (vaporización) y pasa desde la superficie evaporante a la atmosfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficie tales como suelo, lagos y ríos, y vegetación húmeda. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía.

La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2012).

La evaporación representa el paso del estado líquido al estado de vapor. Sea cual fuere la superficie en la que se produzca (mar, hoja, etc.) necesita calor, prácticamente 600 calorías por gramo que, por lo general, es aportado por la energía radiante del sol. La evaporación se produce básicamente por

el aumento de la energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercana a la superficie de un suelo húmedo a una masa de agua, producida por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor (Castañón, 2000).

b) Transpiración

La transpiración es un fenómeno físico de evaporación del agua de las plantas hacia la atmósfera. Se puede considerar como la respuesta de dichas plantas a la demanda atmosférica. Se produce, sobre todo, en las hojas, pero también a través de los tallos, las flores, etc. La mayor parte se efectúa a través de las estomas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006) ,menciona que la transpiración se relaciona con la cantidad de materia seca la cantidad de agua consumida siendo la relación entre la biomasa y agua transpirada aproximadamente tipo lineal dependiendo de la especie y del déficit de presión de vapor de esta manera se estima la cantidad y biomasa producida. También se puede definir como la pérdida de agua hacia la atmosfera en forma de vapor, dependiente de las acciones físicas y fisiológicas de los vegetales a través de las (estomas) a esto se le define como fenómenos de evaporación (Monsalve,1999).

Reyes (1992), define que es un fenómeno primordial al igual que la evaporación con la diferencia de que la superficie evaporante por donde escapan las moléculas de agua es principal mente las hojas de las plantas; los factores que influyen en la transpiración son:

- Las aberturas de las estomas favorecidos por la luz y el calor; en consecuencia, depende de la radiación solar y de la insolación.
- Humedad del suelo existente.
- El poder evaporante de la atmosfera (temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, etc.)

2.2.4. Coeficiente de cultivo

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), definen al coeficiente de cultivo K_c como el criterio del uso del agua por el cultivo, el cual a su vez es función, entre otros factores, del tipo de cultivo, de las condiciones agroecológicas prevalecientes y de las prácticas culturales específicas. El mismo es obtenido de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración referencial, cuando ambas se dan en grandes campos y en condiciones de crecimiento óptimos.

En términos generales, es el agua requerida por los cultivos, es equivalente a la tasa de evapotranspiración necesaria para sostener un óptimo crecimiento de la planta. Más aún, el agua requerida es definida como la tasa de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, en una superficie no menor que una hectárea bajo óptimas condiciones de suelo, se asume fertilidad adecuada, agua para alcanzar la máxima producción potencial bajo las condiciones predominantes del medio ambiente.(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

En el enfoque del coeficiente único del cultivo, los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo son combinados en un coeficiente de cultivo único. Este coeficiente integra las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del

pasto de referencia. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días), de la evapotranspiración del cultivo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

Debido a que el coeficiente único coeficiente de cultivo, representa un promedio de la evaporación en el suelo y la transpiración, este procedimiento se utiliza para estimar evapotranspiración del cultivo, para períodos de tiempo semanales o mayores, a pesar de que los cálculos puedan realizarse a nivel diario. El coeficiente único el coeficiente de cultivo, promediado en el tiempo se utiliza para estudios a nivel de planificación y para el diseño de sistemas de riego donde sea razonable y pertinente considerar los efectos promedios del humedecimiento del suelo. Este es el caso de los sistemas de riego por superficie y aspersión donde el intervalo entre riegos sucesivos es de varios días, generalmente de diez o más días. Por lo tanto, para un manejo típico del riego, es válido aplicar el procedimiento del coeficiente único, K_c (coeficiente de cultivo), promediado temporalmente. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

De acuerdo a la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), mencionan que el coeficiente de K_c . de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, y que son las siguientes:

- **Fase inicial: Fase 1°.-** Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta o nada por el cultivo. desde la siembra al 10 % de la cobertura vegetal.

- **Fase de desarrollo del cultivo: Fase 2°.-** Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llegue a una cobertura sombreada efectiva completa del orden del 70 a 80 %.
- **Fase de mediados del periodo (maduración): Fase 3°.-** Comprende desde que se obtiene la cobertura efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas
- **Fase final del periodo vegetativo (cosecha): Fase 4°.-** Comprende desde la final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

Tabla 3. *Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.*

Fases FAO	Duración de las etapas de crecimiento del cultivo de papa (*)	Fases fenológicas del cultivo de papa (*)
I: Fase Inicial	25 días	- Emergencia
II: Fase de desarrollo	30 días	- Inicio de formación de estolones. - Inicio de tuberización.
III: Fase media	45 días	- Inicio de la floración - Final de la floración
IV: Fase final	30 días	- Final de la tuberización. - Madurez fisiológica

Fuente: Lescano ,1994.

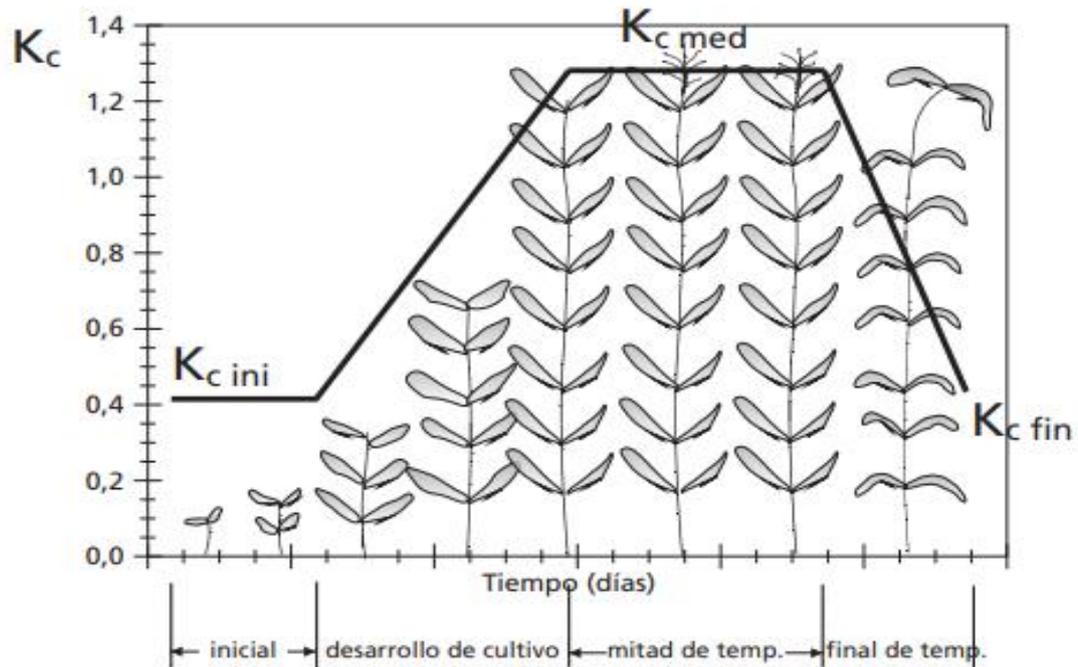


Figura 1. Curva generalizada del coeficiente de cultivo

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura(2006).

En la figura 1, indica de manera generalizada, la curva del coeficiente de cultivo (KC). El cual desempeña un papel esencial en diversas prácticas agrícolas y ha sido ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración del cultivo en la programación de la irrigación.

2.2.5. Cálculo del coeficiente de cultivo

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), para el cálculo del coeficiente de cultivo es imprescindible estimar la evapotranspiración del cultivo se necesita de información precisa sobre coeficiente de cultivos, siendo esta un impedimento de gran importancia en muchas regiones. Con respecto al cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar. Se considera que no existen limitaciones en el desarrollo del cultivo debido a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad. El valor de la

evapotranspiración del cultivo es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_0) y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente de cultivo(K_c).

$$ET_C = K_C * ET_0 \quad (1)$$

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único (K_c) incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de K_c calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo. Solamente en los casos en que el coeficiente de cultivo sea necesario para períodos diarios, para cultivos específicos y para años específicos, se requerirá de coeficientes separados de transpiración y evaporación ($K_{cb} + K_e$). (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ,2006)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), el procedimiento de cálculo de la evapotranspiración del cultivo es el siguiente:

1. Identificar las etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada etapa y seleccionando los valores correspondientes de K_c (coeficiente de cultivo).

2. Ajustar los valores de K_c seleccionados según la frecuencia de humedecimiento o las condiciones climáticas durante cada etapa.
3. Construir la curva del coeficiente del cultivo (la cual permite la determinación de K_c para cualquier etapa durante el período de desarrollo).
4. Calcular ET_c como el producto de ET_o y K_c (coeficiente de cultivo).

El coeficiente de cultivo describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ,2006)

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (2)$$

Despejando:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo, en mm/día

K_c : Coeficiente de cultivo (Adimensional)

ET_o : Evapotranspiración referencial, en mm/día.

2.2.6. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o)

García, (1990), menciona que la evapotranspiración de un cultivo de referencia tiene la característica de ser un cultivo densamente poblado de crecimiento uniforme y tamaño pequeño, con el desarrollo de su ciclo vegetativo bajo condiciones óptimas de humedad cercana a la capacidad de campo.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), los únicos factores que afectan la evapotranspiración de referencia son los elementos climáticos, por lo tanto, la evapotranspiración de cultivo de referencia es también un elemento climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

García (1990), aduce que no siempre la evapotranspiración de cultivo de referencia es mayor que la evapotranspiración real (Etc.), ya que, en las fases de intenso desarrollo del cultivo, sin déficit de agua, ocurre lo inverso. Esto dio origen al término evapotranspiración de referencia.



Figura 2. Evapotranspiración de cultivo de referencia

Fuente: Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006)

Se han desarrollado numerosos métodos que permiten estimar la evapotranspiración en cultivos. Estos van desde métodos sencillos que determinan la ETo de manera directa a métodos indirectos o micro meteorológicos que consisten principalmente en ecuaciones empíricas con base en variables climáticas. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

2.2.7. Métodos de Penman – Monteith

El panel de expertos de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), recomendó la adopción del método

combinado de Penman-Monteith como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia y aconsejó sobre los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la fórmula incluye. El método organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activa y adecuadamente regado. El método Penman-Monteith fue seleccionado como el método por el cual la evapotranspiración de esta superficie de referencia (ET_o) puede ser inequívocamente determinada y con el cual se obtienen valores consistentes de esta superficie de referencia en todas las regiones y climas. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

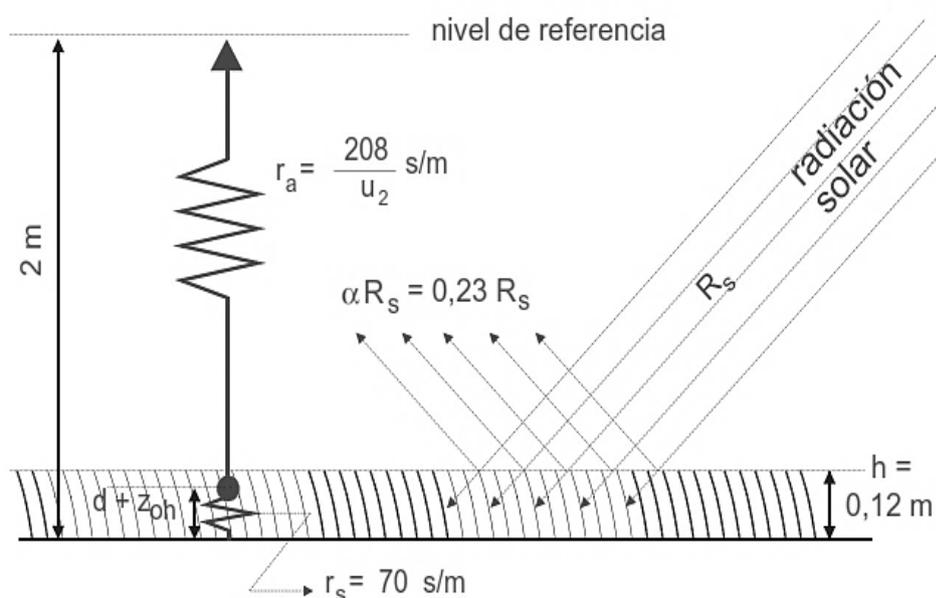


Figura 3. Características del cultivo de referencia

Fuente: Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006).

Ecuación FAO Penman Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (4)$$

Donde:

ET₀ : Evapotranspiración de referencia (mm día)

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

G : Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

Γ : Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

U₂ : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

E_s : Presión de vapor de saturación (kPa)

E_a : Presión real de vapor (kPa)

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2 m de altura sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua. Cabe resaltar que la ecuación de la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación Penman-Monteith es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

2.2.8. Datos meteorológicos

García (1990), menciona que los métodos para calcular la evapotranspiración a partir de datos meteorológicos requieren de varios parámetros climatológicos y físicos. Algunos de estos parámetros se miden directamente en estaciones meteorológicas. Otros parámetros se relacionan con los datos comúnmente medidos y se pueden derivar con la ayuda de relaciones directas o empíricas. Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante.

Para Allen, Pereira, Raes, & Smith(2006), los principales parámetros meteorológicos son las siguientes:

a. Radiación solar (MJ/m²/día). El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, por lo que la cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera, la presencia de nubes que reflejan y absorben las cantidades importantes de radiación, pero cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua, debido a que parte de la energía solar se utiliza también para calentar

la atmósfera y el suelo. Estos datos no están disponibles comúnmente en forma directa, pero pueden derivarse de la radiación de onda corta (promedio) medida a partir de la duración real diaria (promedio) del sol brillante (horas por día) medida con el heliógrafo.

b. Temperatura del aire (°C). La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco. Para el cálculo de la evapotranspiración de esta superficie de referencia mediante la aplicación de la fórmula de Penman-Monteith la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación será necesario obtener datos de temperaturas (°C) máximas, mínimas y el promedio respectivo.

c. Humedad del aire (%). Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua; la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. Por lo que, las áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes, consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. En cambio, en regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de

saturación puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

d. Velocidad de viento (m/s). El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye. La corrección para las variaciones de altura en que se mide la velocidad del viento se realiza con la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{V_z * 4,87}{\ln (67,8 * Z - 5,42)} \quad (5)$$

Donde:

V₂: Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie (m/s).

V_z: Velocidad del viento medida a z (m) sobre la superficie (m/s).

z: Altura de medición sobre la superficie (m)

e. Humedad atmosférica (%). El contenido de agua del aire se puede expresar de diversas maneras. En agrometeorología, la presión de vapor, la temperatura del punto de condensación (punto de rocío) y la humedad relativa son expresiones comunes para indicar la humedad del aire. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

2.2.9. Estación meteorológica

Hoy en día mediante una estación meteorológica automática, donde los datos meteorológicos se registran y procesan, es posible obtener datos instantáneos de

evapotranspiración de referencia (ET_o), para la cual la estación, emplea internamente la ecuación Penman – Monteith. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

2.2.10. Evapotranspiración en el cultivo

El conocimiento del consumo de agua para el desarrollo de los cultivos es esencial en las distintas ramas de la agricultura, como son: los requerimientos hídricos, riegos tecnificados, en la productividad y estudios en el balance del agua. La evapotranspiración de cultivo (ETC) se relaciona directamente a dichos estudios y se conoce como el volumen de agua requerido para satisfacer a los cultivos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

La evapotranspiración del cultivo (ETC) es el conjunto de la evaporación desde el suelo y la transpiración, la cual es necesaria para comprender mejor los ciclos hidrológicos terrestres y desarrollar una programación precisa de riego. Un conocimiento detallado de la evapotranspiración del cultivo desde el período de emergencia hasta la madurez es esencial para la evaluación y requerimientos de los recursos hídricos, la capacidad de los sistemas de riego, la asignación óptima del agua a los cultivos y la toma de decisiones en la agricultura. Una estimación precisa de la evapotranspiración del cultivo (ETC), es de gran importancia para el manejo adecuado del agua, por lo tanto, es necesario contar con un modelo preciso y fácil de usar para establecer adecuadas láminas de riego. Según Nagore, Echarte, Andrade & Della (2014), la evapotranspiración del cultivo (ETC), es un proceso importante en el rendimiento de los cultivos en entornos limitados de agua. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006)

2.2.10.1. Medición de la evapotranspiración

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), determina que el instrumento para la medición es el lisímetro o evapotranspirómetro, los cuales son tanques rellenos con suelo en los cuales un cultivo crece bajo condiciones encontradas en el campo y sirven para medir la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración. Este método proporciona el medio directo de medir la evapotranspiración y es frecuentemente usado para estudiar los efectos climatológicos y para evaluar los diferentes métodos que hacen estimaciones de (ET).

Los lisímetros son dispositivos formados por un tanque con área de 4,00 m² pudiendo de ser hasta 10m², su profundidad depende del cultivo, más lo ideal es de 1.20m. Sobre todo, para los cultivos anuales; Al llenarse el recipiente se inicia con una capa de cascajo, arena fina, luego es colocada al suelo obedeciendo las capas del perfil del mismo, en el tanque así constituido nos permite conocer la evapotranspiración real, la cual en el caso que no exista restricción de humedad constituye la evapotranspiración máxima (E_{tm}). (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,2006)

Las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser esencialmente iguales a aquellos fuera del mismo. El lisímetro debe estar rodeado por el mismo tipo de cultivo que este plantado en él, localizado dentro del campo del cultivo. Los lisímetros pueden ser agrupados dentro de tres categorías (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006).

- Lisímetros de nivel freático constante.
- Lisímetros de pesaje.
- Lisímetros de drenaje libre.

Según Pérez (2005), existen varios métodos para determinar la evapotranspiración y se consideran dos categorías, las más comúnmente aplicados son los siguientes métodos directos:

I. Método de los Lisímetros

Para García y Briones (1997), los lisímetros son dispositivos formados por un tanque con área de 4 m² como mínimo y pudiendo alcanzar hasta 10 m², su profundidad depende del cultivo, más lo ideal es de 1 a 1.2 m. sobre todo para cultivos anuales; al llenarse el recipiente se inicia con una capa de cascajo, otra de arena fina y luego es colocado el suelo obedeciendo las capas del perfil del mismo. En el tanque así constituido se siembra un cultivo cuya pérdida continua de agua se desea conocer. El dispositivo constituido de esta forma es el lisímetro que nos permite conocer la evapotranspiración real. El método de lisimetría proporciona el único medio directo de medir la evapotranspiración y es frecuentemente usado para estudiar los efectos climatológicos y para evaluar los diferentes métodos que hacen estimaciones de ET.

Goyal y Gonzáles (1990), mencionan que las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser esencialmente iguales a aquellos fuera del mismo. El lisímetro debe estar rodeado por el mismo tipo de cultivo que esté plantado en él, localizado dentro del campo de cultivo. Los lisímetros pueden ser agrupados dentro de tres categorías:

- Lisímetros de nivel freático constante
- Lisímetros de pesaje
- Lisímetros de drenaje o percolación

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

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = \text{ETo} + \text{Infiltración} + \Delta \text{ Almacenamiento}$$

Para calcular Δ almacenamiento, normalmente se mide la humedad del suelo y a partir de ahí se calcula para convertir esa humedad en una lámina de agua equivalente expresada en mm. Mediante riego, el método es más simple, debido a que se debe mantener el suelo en condiciones de humedad óptima y el cálculo ahora sería despejando ETP de la ecuación siguiente:

$$\text{RIEGO} = \text{ETP} + \text{INFILTRACIÓN}$$

$$\Rightarrow \text{ETP} = \text{Riego} - \text{Infiltración} \quad (6)$$

Ya no hay Δ almacenamiento, puesto que dicho almacenamiento está siempre completo y consideramos que tampoco hay precipitación. Un lisímetro es difícilmente representativo de toda la región; en ocasiones se establece el balance hídrico en una parcela experimental, en la que se miden precipitaciones, escorrentía superficial, variaciones de la humedad en el suelo, etc. Para despejar finalmente la ET. Sería un procedimiento más exacto, pero más costoso y complicado. (Goyal y Gonzáles,1990)

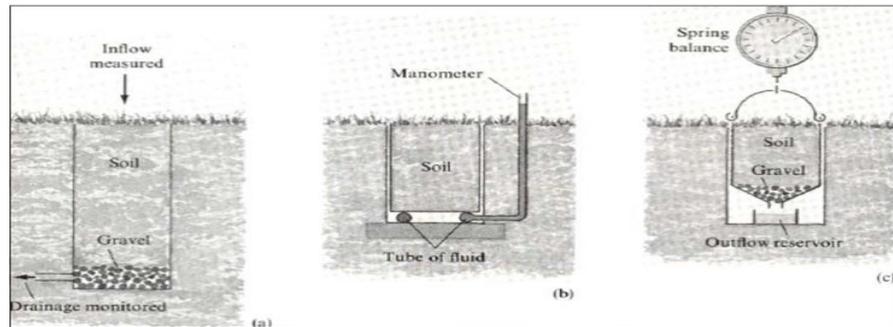


Figura 4. Tipos de lisímetro: de drenaje, freático y de pesaje

Fuente: Goyal y Gonzales (1990).

Balance aplicado a lisímetros de Drenaje: $ET_c = P + I - D$

En caso de zonas áridas si precipitación: $ET_c = R - D$

Balance aplicado a lisímetros de Pesada:

$$ETR = P + R \mp \Delta\theta \quad (7)$$

Donde:

P : precipitación

R : riego

D : drenaje

$\Delta\theta$: Intercambio de humedad del suelo.

II. Método de balances hídricos

García, (1990), el balance es la evaluación volumétrica de las entradas y salidas de agua a un sistema para conocer su disponibilidad para establecer un balance hídrico hay que conocer las entradas de agua, que están dadas por el riego (R), medido volumétricamente, y las salidas de agua de un cultivo, que se dan por la evapotranspiración (ET_c), que es la pérdida de agua por evaporación desde cualquier superficie evaporante más la transpiración de la

vegetación existente, y por el drenaje, que es la cantidad de agua que percola a través del suelo por efecto de la gravedad.

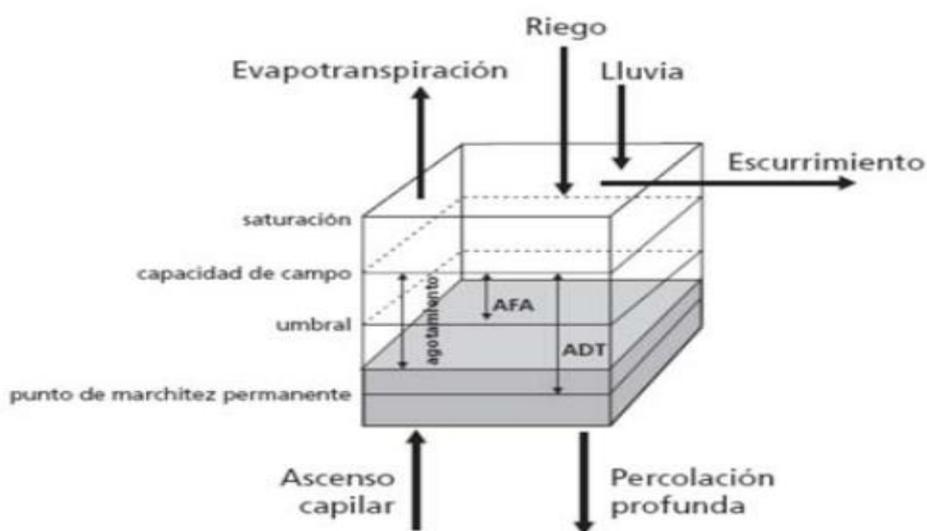


Figura 5. Balance de Agua en la zona radicular.

Fuente: FAO (2006).

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006), la estimación del consumo hídrico requiere del cálculo de un balance diario de humedad para la zona radicular del suelo. De una manera esquemática, se puede representar la zona radicular como un recipiente en el cual puede fluctuar la cantidad de agua existente. Es útil expresar el contenido de agua en la forma de agotamiento del agua en la zona radicular.

Esto hace más sencillo el proceso de añadir y sustraer las pérdidas y ganancias, considerando que los diferentes parámetros del balance de humedad del suelo son expresados generalmente en forma de lámina de agua. El balance diario del agua en la zona radicular del suelo, expresado en términos de agotamiento al final del día es, por lo tanto:

$$ET_c = Riego + Precipitacion - Agua que percola \quad (8)$$

2.2.11. Propiedades físicas del suelo

García (1990), indica que, en el suelo, podemos distinguir diferentes propiedades entre si originando a su vez una diversidad de tipos de suelos, en función de la incidencia de cada una de ellas. Las principales propiedades del suelo son: físicas, químicas y biológicas.

- a. **Textura.** La textura se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, del limo y de las arenas de menos de 2 mm de diámetro. Si las partículas mayores de 2 mm están presentes en cantidades significativas, al nombre de la textura se le agregará el adjetivo de gravoso o pedregoso según sea el caso.
- b. **Estructura.** Desde el punto de vista morfológica, es el grado, forma o modo en que las partículas integrantes de un suelo se asocian entre sí, formando en forma natural grupos unidos sin la intervención del hombre. Los agregados son unidades secundarias o gránulos de muchas partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados naturales se denominan peds (granos) y varían su estabilidad en el agua; los terrones son masas coherentes de suelo, de cualquier forma, que se han quebrado por un medio artificial como la labranza. La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza.
- c. **Densidad aparente.** La densidad aparente de un suelo se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en gr/cm^3 . Para fines

prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica, pero específico o peso volumétrico.

- d. Densidad real.** La densidad real de un suelo es la relación que existe entre el peso de este, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se exprese en gr/cm^3 .
- e. Infiltración.** La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/h o cm/min . La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo es la máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua ya ha entrado en él.
- f. Percolación.** Es el movimiento del agua a través de una columna de suelo se llama percolación. Ellos mencionan que los estudios de percolación son importantes por dos razones. Las aguas que percolan son la única fuente del agua de manantiales y pozos. Las aguas percolantes arrastran nutrientes de las plantas que se sitúan fuera del alcance de las raíces.
- g. El agua en el suelo.** El agua del suelo, como uno de los principales componentes hidrológicos, constituye la principal fuente de agua para los cultivos, por su capacidad de almacenarla y entregarla gradualmente, a medida que se requiere. Mientras, que para Tarazona (2017), el agua se infiltra en el suelo a través de los macroporos, para ser retenida en parte por los microporos y el resto percola a través del perfil hacia los estratos más profundos o hasta el nivel freático. El agua en el suelo no está libremente

disponible, sino que está retenida con una energía variable que debe ser superada por las plantas para poder ser incorporada y permitir la producción de materia seca. La cantidad de agua retenida es característica de cada suelo y en relación con sus propiedades físicas.

- h. Disponibilidad del agua en el suelo.** La cantidad de agua disponible en el suelo a ser utilizada por las plantas está comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) si se mantuviera el contenido de humedad del suelo a un nivel mayor que la CC, existe el peligro de que la falta de aire en el suelo sea un factor limitante para el normal desarrollo de las plantas. (Calvache, 2009, pág. 11)

a. Humedad Gravimétrica (θ_g)

Es la relación entre la masa de agua y la masa de suelo una vez seco.

$$\theta_g(\%) = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa suelo seco}} * 100 = \frac{M_a}{M_s} * 100 \quad (9)$$

b. Humedad Volumétrica (θ_v)

Es la relación existente entre el volumen de agua (V_a) y el volumen total o aparente del suelo (V_t) cuando está seco:

$$\theta_v(\%) = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen total del suelo}} * 100 = \frac{V_a}{V_t} * 100 \quad (10)$$

θ_g y θ_v se relacionan de la siguiente forma:

$$\theta_g = \frac{\theta_v}{d_a} \quad (11)$$

Donde:

d_a : Densidad aparente del suelo (g/cm³)

- i. Saturación.** Un suelo está saturado cuando todos sus poros están ocupados por agua. La tensión es inferior a 0.3 bares y el agua está sujeta

a la fuerza de gravedad. La saturación completa es difícil de obtener en condiciones de campo debido a que puede quedar atrapado el aire. Esta situación no es óptima desde el punto de vista biológico, debido a la falta de oxígeno. Esta situación se produce después de un riego pesado o de una lluvia prolongada. (Calvache, 2009)

- j. Capacidad de campo.** Se define como la máxima capacidad de retención de agua en un suelo seguido de drenaje libre, y que alcanza según la textura del suelo entre las 12 y 72 horas después de un riego pesado o una lluvia que permitió saturar momentáneamente al suelo; es decir, cuando la percolación y drenaje del agua gravitacional haya, prácticamente, cesado. Se define también como el contenido de humedad del suelo cuando la variación del contenido de humedad ($\Delta\theta$) con respecto al tiempo tiende a cero y para condiciones de evapotranspiración nula. También se puede decir que el contenido de humedad a capacidad de campo es aquel que corresponde a un estado energético del agua en el suelo de aproximadamente 0.33 bares para un suelo pesado (arcilloso) y de 0.10 bares para un suelo de textura gruesa (arenoso). (Calvache, 2009)
- k. Punto de marchitez permanente (PMP).** El punto de marchitez permanente es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. El PMP también varía en cada especie vegetal. Es el límite inferior de la humedad, en la cual la reserva de agua en el suelo está en el fin o se agotó, este punto es difícil de ser determinado debido

a que involucra la conductividad hidráulica del suelo bien seco.
(Calvache, 2009)

- l. Humedad aprovechable o disponible.** La Humedad aprovechable es el agua retenida por el suelo y de libre disponibilidad para las plantas, matemáticamente es la diferencia que existe entre los contenidos de humedad del suelo a capacidad de campo (θ_{CC}) y punto de marchitez permanente (θ_{PMP}).

$$HAT(\%) = \theta_{CC}(\%) - \theta_{PMP}(\%) \quad (12)$$

Donde:

HAT (%): Humedad aprovechable total o agua disponible total en la capa enraizada del suelo (Vol. %)

θ_{CC} (%): Contenido de humedad a capacidad de campo (Vol. %)

θ_{PMP} : Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (Vol. %).

- m. Fracción del agua, suelo fácilmente aprovechable.** En los cultivos, nunca se debe permitir que el contenido de humedad del suelo alcance el punto de marchitez permanente. Es decir, el agua se debe reponer cuando se agote solo una fracción de la capacidad de retención del agua del suelo.
(Calvache,2009)

- n. Humedad fácilmente aprovechable (HFA).** En cultivos bajo riego, nunca se debe permitir que el contenido de humedad del suelo alcance el punto de marchitez. En otras palabras, se debe reponer el agua cuando se agote una fracción de la capacidad total del agua del suelo.

La fracción de agua del suelo fácilmente aprovechable varía entre 0,2 y 0,8. Los valores menores son usados para cultivos más sensibles al

déficit de agua y los mayores para los cultivos más resistentes. De manera general, se puede dividir los cultivos en cuatro grandes grupos.

Tabla 4. *Factor de disponibilidad del agua del suelo o Umbral de Riego*

CULTIVOS	VALOR UR
Ornamentales	0.2-0.4
Hortalizas y legumbres	0.2-0.6
Frutas y forrajes	0.3-0.7
Cereales	0.4-0.8

Fuente: Calvache, 2009, Pág. 16.

El valor de UR a ser usado, dentro de cada grupo de cultivos, dependerá de la mayor o menor sensibilidad del cultivo al déficit de agua en el suelo y a la demanda atmosférica de la región. Para un mismo cultivo, cuanto mayor sea la demanda atmosférica menor será el valor del UR. El cálculo de HFA del suelo se logra con la siguiente ecuación:

$$HFA(\%) = UR * (\theta_{CC}(\%) - \theta_{PMP}(\%)) \quad (13)$$

Donde:

UR: Fracción del agua del suelo fácilmente aprovechable o umbral de riego.

La humedad aprovechable total, generalmente aumenta a medida que la textura del suelo se hace más fina. (Calvache, 2009, pág. 16)

- o. Volumen de agua disponible total en la capa de raíces.** Para una determinada profundidad radicular y área cultivada se puede determinar el volumen de agua contenido en este por medio de la siguiente ecuación:

$$L_a = \frac{(\theta_{CC}(\%) - \theta_{PMP}(\%)) * Dap.* Prof.}{100 * p\omega} \quad (14)$$

Para determinar el volumen de agua contenida por unidad de área (hectárea) se utiliza la siguiente relación simplificada:

$$V_{AD} = 10 + La \quad (15)$$

Donde:

La: Lámina de agua disponible total (mm)

Da: Densidad aparente del suelo (gr/cm³)

Prof.: Profundidad radicular (gr/cm³)

ρ_w : Densidad del agua, equivalente a 1 gr/cm³

VAD: Volumen de agua disponible total en la zona de raíces (m³/ha). (Calvache, 2009, pág. 19).

2.2.11.1. Métodos de medición del contenido de agua en el suelo

- **Método gravimétrico (muestreo y secado)**

Consiste en tomar muestras a diferentes profundidades (generalmente intervalos de 10 cm) y sitios en el campo, obteniéndose luego un promedio de la humedad del suelo. El método es simple, no requiere equipo complicado y puede ser usado en todos los suelos agrícolas. Sin embargo, es lento y requiere de muchas repeticiones para reducir errores debido a la variación del suelo.

Las muestras tomadas en el campo con el barreno se depositan inmediatamente en una caja de lata y se cierran herméticamente. Luego de pesarlas se secan hasta peso constante en una estufa a 105-110 °C, y se pesan nuevamente. La diferencia de peso, debido a la pérdida de agua, se divide por el peso del suelo seco y multiplicado por 100. Esto permite

calcular el porcentaje de humedad sobre la base del peso seco (humedad gravimétrica). (Calvache, 2009, pág. 11)

2.2.12. Estimación de datos faltantes de parámetros climáticos

Calvache (2009), frecuentemente se halla uno con que faltan datos en los registros de parámetros climáticos. esto se debe a ausentismo del operador o a fallas instrumentales. Se llama correlación a la operación o procedimiento por medio del cual se completan los datos faltantes. Para ello se utilizan los datos de estaciones índices, que si tienen los datos completos y que se seleccionan de modo que estén lo más cerca posible y sean de altitud parecida a la estación en estudio. distancia y altitud son pues los factores principales para la selección de las estaciones índice.

- **Métodos de estimación**

- a. **Método de la recta de regresión**

Por razones de comodidad se va a designar con “y” a la estación con datos incompletos y con “x” a la estación índice. Básicamente, el método consiste en:

- Dibujar el diagrama de dispersión (puntos de coordenadas x,y).
- Ajustar una recta a ese diagrama de dispersión.
- Esta recta, llamada “línea de regresión”, se usa para completar la información faltante en y:

$$\text{ecuacion lineal} \quad Y = AX + B \quad (16)$$

$$\text{ecuacion polinomial} \quad Y = CX^2 + BX + A \quad (17)$$

Los valores de r varían de -1 a 1

R=0, significa que no existe ningún grado de asociación entre los valores de x y los valores de y (correlación nula)

$R=1$, significa que los puntos del diagrama de dispersión se alinean en una recta de pendiente positiva.

$R=-1$, significa que los puntos del diagrama de dispersión se alinean en una recta de pendiente negativa. (Calvache, 2009, pág. 22)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Descripción del área experimental

El presente trabajo de investigación fue realizado en el anexo Incapu del distrito de Shilla, que se encuentra ubicado en:

a. Localización del experimento

- Departamento : Ancash
- Provincia : Carhuaz
- Distrito : Shilla
- Anexo : Incapu

b. Coordenadas geográficas

- Latitud sur : $9^{\circ}13'19.87''$
- Latitud oeste : $77^{\circ}37'18.99''$
- Altitud : 3113 m.s.n.m
- UTM : $9^{\circ}13'19.9''S 77^{\circ}37'19.0''W$

3.1.2. Condiciones meteorológicas del lugar de estudio

Tabla 5. Datos meteorológicos estimados a través de estaciones cercanas.

MESES	T° MINIMA	T° MAXIMA	PROMEDIO	H. REALTIVA (%)
ENERO	6.91	21.55	14.23	71.81
FEBRERO	7.03	20.45	13.74	74.67
MARZO	6.91	19.9	13.4	76.02
ABRIL	6.62	21.12	13.87	75.62
MAYO	4.99	22.05	13.52	68.61
JUNIO	3.79	22.47	13.13	68.97
JULIO	3.25	22.49	12.87	69.41
AGOSTO	3.57	23.16	13.36	69.19
SETIEMBRE	4.71	23.17	13.94	68.56
OCTUBRE	5.61	22.38	13.99	69.41
NOVIEMBRE	6.06	21.72	13.89	72.8
DICIEMBRE	6.68	21.23	13.96	68.36

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético

Se emplearon las semillas de la papa canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303, proveniente de la zona de cultivo de Shilla. Con el espaciamiento entre surcos de 0.8 m y el espaciamiento de 0.3 m entre plantas. El número de plantas sembradas en el lisímetro fue de 4 unidades.

3.2.2. Variables Climáticas

Las variables climáticas que se utilizaron fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas más cercanas del proyecto : Estación Yungay, ubicado en la provincia de Yungay con una altitud 2527 msnm y estación Independencia ubicada en el distrito de Independencia – Huaraz con una altitud de 3207 msnm y otras estaciones más cercanas del proyecto. De dichas estaciones se obtuvieron los datos meteorológicos correspondientes a los meses de: enero, febrero, marzo, abril, mayo,

junio, julio, agosto, setiembre y octubre del 2021 que fue el periodo en el que se cosecho el cultivo de la papa. Los parámetros meteorológicos utilizados fueron los siguientes:

- Temperatura Media Tmed. (°C)
- Humedad relativa media mensual HRmed. (%)
- Radiación extraterrestre(MJ/día)
- Velocidad de viento (m/s)
- Horas de sol total (horas)
- Precipitación total mensual pp (mm)

3.3. Material Experimental

3.3.1. lisímetro

En la investigación se instaló un lisímetro de drenaje para lo cual se utilizó un tanque de almacenamiento de 1.08 m³ aproximadamente, el cual tiene una salida de agua que se usó como salida de drenaje.

Para construir el lisímetro se utilizó los siguientes elementos:

- Tubería PVC de $\varnothing=3/4''$
- Llave de agua f = 3/4"
- Malla Geo sintética
- Recipiente para medir el volumen de agua percolada.
- Piedra de 2''
- Cilindro metálico para drenaje.

3.3.2. Construcción del lisímetro

Para la ejecución de la investigación se construyó un lisímetro de drenaje de 1.2 m² de área, cuya dimensión fue determinada acorde a las diferentes características

fisiológicas del cultivo como: la profundidad radicular, la distancia entre surcos y el área que le corresponde a cada una de las plantas de la papa Canchan. Por lo que, toda la etapa constructiva se realizó siguiendo cada una de las pautas obtenidas en las investigaciones anteriores. A continuación, se muestra el diseño planteado de un lisímetro de drenaje.

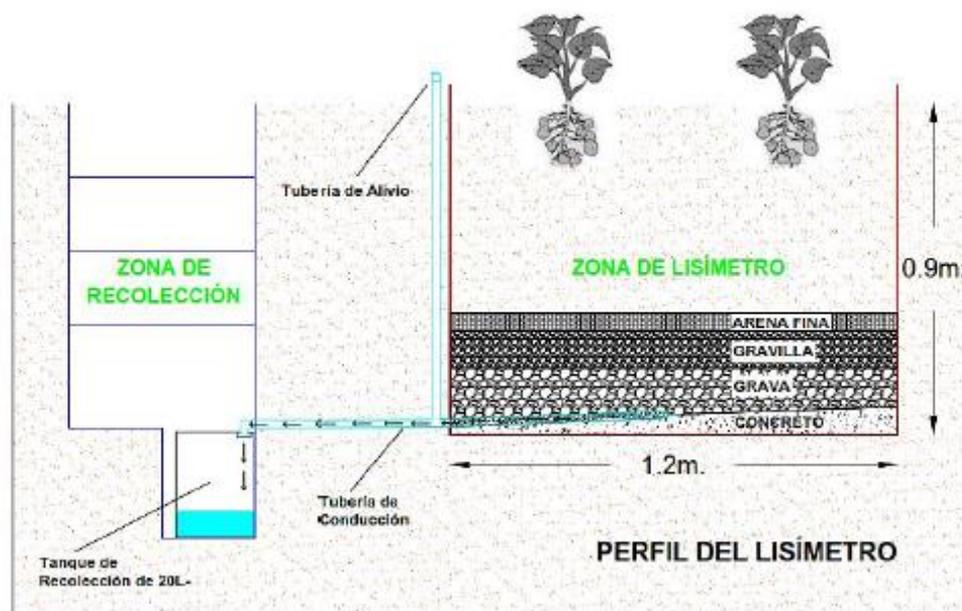


Figura 6. Esquema del lisímetro de drenaje

En la figura 6, se detalla los componentes principales del lisímetro de drenaje, los cuales son: zona del lisímetro y la zona de recolección.

Zona de lisímetro

Una vez definido la ubicación del lisímetro siguiendo las condiciones como estar dentro de un cultivo mayor, a campo abierto y libre sombra. Se procedió al proceso constructivo, el cual se empezó con la excavación de 1.2m de largo por 1.5 de ancho por 1.2 metros de profundidad. Donde, el volumen de la excavación es un tamaño superior a la del tanque esto con la finalidad de tener una mejor maniobrabilidad al momento de la instalación.

El tanque usado es un recipiente rectangular de 1.2 metros de largo por 1 metro de ancho y 0.9 metros de alto, el cual tiene incluido una válvula de 2” insertada de fabricación , y con incluido con una plataforma metálica, la cual también se utilizó para dar un mejor soporte estructural a nuestro lisímetro.



Figura 7. Excavación de terreno para la instalación de lisímetro de drenaje.

Una vez instalado el tanque se procedió a colocar un mortero dentro de la base; luego del posterior vaciado del mortero, se realizó una ligera pendiente y pulido. La formación de la pendiente se hizo para dirigir toda el agua drenada hacia un punto en específico que es la válvula de salida del tanque. En el fondo del tanque se colocó una tubería de 2” que ayudaría a conducir el agua percolada hacia salida del tanque y en la parte superior de la tubería se realizó perforaciones de 4mm de diámetro que servirá como captación del agua.



Figura 8. Tanque utilizado para la construcción del lisímetro de drenaje

Terminado el secado y curado del mortero se procedió a colocar la tubería recolectora del agua siguiéndose con la conformación de los estratos, que servirán como filtros de nuestro lisímetro, empezando por la colocación de una capa de 10cm de grava de ½””; continuando con la capa de 10cm de gravilla de 5mm, para luego colocar la última capa de 5cm de arena fina. Cabe resaltar que antes de la conformación se realizó un lavado previo a todos los materiales que conforman los estratos.



Figura 9. Uso de grava como material filtrante.

Una vez terminado de colocar los estratos filtrantes se colocó el suelo propio. Esto se hizo conforme se encontró el suelo al momento de realizar la excavación, respecto a su posición. Por lo que, se procedió a realizar la compactación.

Todos estos procedimientos se hicieron con la finalidad de no alterar la estructura inicial del suelo antes de la construcción del lisímetro. Siendo importante dejar un borde libre 5cm para evitar pérdidas por desplazamientos al momento del riego. Terminado la construcción de la parte interna del lisímetro se realizó la conexión de la válvula de 2" (salida) hacia la zona de recolección; previo a ello se colocó un desfogue que actuará como un alivio y facilitará el drenaje. Y, para la conducción del agua drenada se hizo la reducción de 2" a 3/4" esto con fines económicos; por último, se fijó la instalación con concreto para evitar el movimiento de las conexiones luego del posterior tapado.



Figura 10. Colocación de suelo propio

Zona de recolección:

Para integrar la zona del lisímetro y la zona de recolección se realizó el zanjado de 3 metros de largo y 1 metro de profundidad donde se colocó la tubería de conducción de 3/4" clase 10; esta tubería se instaló con una inclinación descendente de 1%, tomando como base la salida del lisímetro. Cabe resaltar la separación entre la zona del lisímetro y la zona de recolección es de 3 metros evitando alteraciones en la conductividad de la humedad y/o temperatura del en el suelo.

Terminada la construcción se realizó la construcción de la zona de descarga, el cual nos permitirá recoger de forma segura y precisa el agua drenada. Para ello se hizo una excavación de 2.5 metros de largo por 0.6 metros de ancho y 1,2 metros de profundidad; el cual, se realizó en forma de gradas.

En la figura 11, se muestra el acabado final de la zona de recolección el cual, terminada la excavación, se recubrió con planchas de madera reciclada y para tener una mejor accesibilidad se construyó tres gradas, el cual también fue revestido con planchas de madera. Esta zona cuenta con un depósito de 20L para almacenar el agua drenada y tiene una entrada pequeña que recibe el agua mediante un codo de 90°x 3/4" proveniente de la zona del lisímetro. Al finalizar la construcción se consideró necesario la construcción de un pequeño techo en base a listones de madera y malla raschell 90% ayudando así a evitar la muestra drenada ya sea por evaporación o precipitación.



Figura 11. Zona de recolección de agua drenada

3.3.3. Instalación y desarrollo del cultivo a investigar

Es muy importante resaltar que la investigación se realizó dentro y en paralelo a un cultivo mayor de la papa variedad Canchan, siendo el área total bruta sembrada de 120 m² y por efectos de ser una investigación en conjunto solo se evaluó la parcela; el cual contiene al lisímetro donde se realizó la aplicación y toma de datos.

3.3.3.1. Siembra en el lisímetro

Previo a realizar la siembra se realizó un riego pesado para proceder a la siembra de la papa variedad Canchan, el cual se realizó mediante la siembra directa a una separación entre hileras de 0.8m y de 0.3m entre plantas y a una profundidad de 0.4 cm como se muestra en la figura 12. El número de plantas sembradas en el lisímetro fue de 4 unidades.



Figura 12. Siembra en el lisímetro.



Figura 13. Abonada con guano de cuy.

3.3.3.2. Duración del experimento

El inicio del sembrío el cultivo de papa cancha fue el 02 de mayo del año 2021 y la fecha de la cosecha fue el día 09 de setiembre del año 2021, haciendo un total de 130 días de periodo vegetativo del cultivo de la papa canchan.

3.4. Metodología

3.4.1. Análisis físico – químico del suelo

Para la determinación del análisis físico químico del suelo se recogieron muestras al azar del área experimental que es el área del lisímetro de drenaje 1.2 m², a una profundidad de 40 – 60 cm, luego estas muestras serán mezcladas y homogenizadas para obtener una sola muestra compuesta de 1 kg, para su respectivo análisis físico y químico que será realizado en el Laboratorio de Ciencias Agrarias – UNASAM

3.4.2. Métodos de medición del contenido de agua en el suelo

A. Método gravimétrico (muestreo y secado)

Consiste en tomar muestras a diferentes profundidades (generalmente intervalos de 10 cm) y sitios en el campo, obteniéndose luego un promedio de la humedad del suelo. El método es simple, no requiere equipo complicado y puede ser usado en todos los suelos agrícolas. Sin embargo, es lento y requiere de muchas repeticiones para reducir errores debido a la variación del suelo.

Las muestras tomadas en el campo con el barreno se depositan inmediatamente en una caja de lata y se cierran herméticamente. Luego de pesarlas se secan hasta peso constante en una estufa a 105-110 °C, y se pesan nuevamente. La diferencia de peso, debido a la pérdida de agua, se divide por el peso del suelo seco y multiplicado por 100. Esto permite calcular el porcentaje de humedad sobre la base del peso seco (humedad gravimétrica). (Calvache, 2009, pág. 11)

3.4.3. Determinación de ETc por el método del lisímetro

Para la determinación de ETc por el método directo se utilizó el lisímetro de drenaje, controlando de forma directa y exacta la cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo de papa, durante todo su periodo vegetativo.

$$ET_c = \text{LAMINA APLICADA (mm)} - \text{LAMINA DRENADA (mm)} \quad (18)$$

3.4.4. Determinación de Kc método lisímetro

Para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc), se utilizó la fórmula matemática:

$$K_C = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (19)$$

Donde la evapotranspiración del cultivo (ETc) serán datos reales que fueron determinados por la ecuación de balance hídrica.

3.4.5. Estimación de ETP por los métodos indirectos

Para determinar la evapotranspiración referencial del cultivo (ETo) se trabajó con la fórmula de la FAO: El método penman, monteith.

3.4.6. Estimación de fases fenológicas planteadas por la FAO

Para la determinación del Kc, se utilizaron la metodología propuesta por la FAO, donde se utiliza la relación de ETc y la ETo para obtener el Kc de la planta. Para obtener los valores apropiados de Kc, se agruparán el ciclo del cultivo en cuatro fases de desarrollo

Tabla 6. *Adecuación de las fases fenológicas del cultivo de papa a las cuatro fases propuestas por la FAO.*

Fases FAO	Duración de las etapas de crecimiento del cultivo de papa (*)	Fases fenológicas del cultivo de papa (*)
I: Fase Inicial	25 días	- Emergencia
II: Fase de desarrollo	30 días	- Inicio de formación de estolones. - Inicio de tuberización.
III: Fase media	45 días	- Inicio de la floración - Final de la floración
IV: Fase final	30 días	- Final de la tuberización. - Madurez fisiológica

Fuente: Lescano,1994.

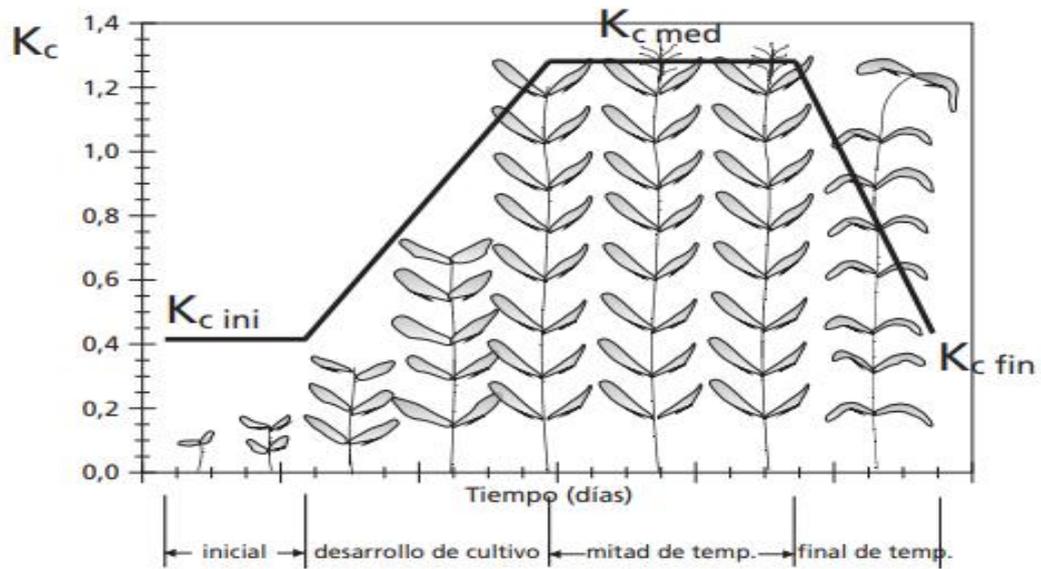


Figura 14. Cálculo de coeficiente de cultivo

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
(2006)

3.4.7. Cálculo de la precipitación

Este variable expresada en mm/día fue nula ya que en el proyecto se construyó su techado por lo tanto la precipitación es nula en todo el proceso fenológico del cultivo.



Figura 15. Techado de área de cultivo de papa en el lisímetro con eternit transparente

3.4.8. Cálculo de la demanda de agua del cultivo

Vásquez y Chang (1992), indican que es la cantidad de agua que requiere la planta para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Sin embargo, dentro de su ambiente, la planta no se encuentra aislada si no que forma parte de un microsistema, sujeto a “entradas” y “salidas”, por lo tanto, susceptible de efectuar un balance hídrico, en el que las entradas están dadas por todos los aportes hídricos al suelo y la “salida” por el proceso de agotamiento de la humedad del suelo, ocasionado por la evapotranspiración actual (ETc).

Para establecer la demanda de agua en el cultivo de papa, se utilizará la siguiente ecuación:

$$Da = ETC - PE \quad (20)$$

Dónde:

Da: Necesidad de riego o demanda de agua (mm/mes, m³ /ha).

ETC: Evapotranspiración real o actual (mm/día, mm/mes).

PE: Precipitación efectiva (mm).

3.4.9. Conducción el experimento

- Preparación del suelo

La preparación del terreno se hizo 20 días antes de la siembra con intención que las condiciones físicas dentro y fuera del lisímetro sean idénticas con la ayuda de un pico se removió la tierra y se hizo los surcos, con un rastrillo se eliminó los terrones y lograr una nivelación uniforme, la rastra se realizó en forma cruzada.

- Siembra

Una vez preparado el terreno se realizó el riego hasta que el suelo llegue a capacidad de campo, esto en la parcela y el lisímetro.

La fecha de siembra fue el 02 de mayo del 2021.

Se realizó la siembra por golpes a un distanciamiento de 30 cm por golpe a razón de 1 semillas por golpe.

- Labores culturales (Deshierbo, primer aporque, segundo aporque)
- Cosecha

3.4.10. Frecuencia de riego

Teniendo en cuenta los usos y costumbres de la localidad, la frecuencia de riego fue de $Fr = 7$ días.

3.4.11. Riego y drenaje

El sistema de riego utilizado en la parcela fue el riego superficial por surco en donde el agua se distribuye por la superficie del campo por gravedad a través de surcos los cuales tuvieron un distanciamiento de 80 centímetros.

Dentro del lisímetro los riegos se realizaron a intervalos de frecuencia de riego tradicional de usos y costumbres de la localidad de Incapu ya que para adquirir el instrumento de Tensiómetro no se pudo porque todo el Perú estuvo en Cuarentena y viendo la posibilidad de trabajar con las frecuencias tradicionales de la localidad se procedió el trabajo.

En el caso del drenaje de agua se medía la altura de agua en el recipiente de drenaje antes de cada riego y se vaciaba el recipiente para luego proceder a regar de tal manera que así se determinaba la cantidad de agua drenada durante el intervalo del riego anterior al riego actual.

3.4.11.1. Primer Riego

Para calcular el volumen de agua a aplicar en el primer riego se utilizó el procedimiento edafológico, el cual se basa en la fórmula:

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{ETc}{\text{Eficiencia de Riego}} * 100 \quad (21)$$

$$FR (\text{dias}) = \frac{Ln (\text{mm})}{ETc (\frac{\text{mm}}{\text{dia}})} \quad (22)$$

$$Ln = (C_c - PMP) * Da * \frac{\text{profundidad radicular}}{100} \quad (23)$$

Donde:

L = espesor de lámina de riego (cm)

C_c = contenido de humedad en base a volumen a la capacidad de campo (0.10 a 0.30 atm).

PMP = contenido de humedad del suelo en base a volumen a punto de marchitez Permanente (15 atm).

P = espesor o profundidad del suelo a ser humedecida (profundidad radicular en este caso es de 40 cm).

Da = densidad aparente

Con esta ecuación se estimó la lámina de agua aplicada durante el primer riego, en base a esto solo necesitamos el área de la superficie del lisímetro (1.2 m²) para determinar el volumen de aplicación:

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{ETc}{\text{Eficiencia de Riego}} * 100$$

$$FR \text{ (días)} = \frac{Ln \text{ (mm)}}{ETc \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)}$$

$$Ln = (C_c - PMP) * Da * \frac{\text{profundidad radicular}}{100}$$

$$Ln = 102.2 \text{ mm}$$

Donde la FR = 7 días

$$FR \text{ (días)} = \frac{Ln \text{ (mm)}}{ETc \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)}$$

$$ETc = \frac{102.2}{7}$$

$$ETc = 14.6 \text{ mm/día}$$

Aplicamos la ecuación de requerimiento de riego de agua conociendo los datos

$$ETc = 14.6 \text{ mm/día}$$

$$E.R = 40\%$$

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{ETc}{\text{Eficiencia de Riego}} * 100$$

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{14.6}{40} * 100$$

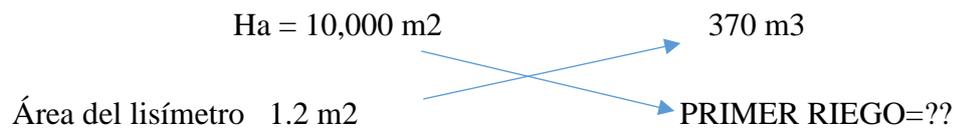
$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = 36.5 = 37 \text{ mm}$$

Conociendo $1 \text{ mm} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$

$$V = 37 \text{ mm} * \frac{10 \text{ m}^3}{1 \text{ mm} * \text{ha}}$$

$$V = 370 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

la sección sembrada en lisímetro es de 1.2 m^2



$$PRIMER RIEGO = \frac{370 * 1.2}{10,000}$$

$$PRIMER RIEGO = 0.044 \text{ m}^3 \text{ en litros } 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ lts}$$

$$PRIMER RIEGO = 0.044 \text{ m}^3 \frac{1000 \text{ lts}}{1 \text{ m}^3}$$

$$PRIMER RIEGO = 44 \text{ lts}$$

$$\text{En mm } PRIMER RIEGO = 44 \text{ mm}$$

3.4.12. Balance hídrico en el lisímetro

Para realizar el balance hídrico en el lisímetro se parte de la Ecuación 24, en esta encontramos elementos que se deben simplificar, en el caso de escurrimiento superficial (ES) en un lisímetro es inexistente ya que el agua no fluye horizontalmente a causa de la hermeticidad del lisímetro, el agua capilar (C) no se considerada por el mismo motivo, así mismo la variación del contenido de humedad es cero ya que los riegos se realizan cuando el contenido de humedad es el mismo indicado por el tensiómetro. Bajo estas consideraciones la Ecuación 1 queda simplificada así:

$$ET_c = R + P - D \quad (24)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (mm/día)

R : Riego (mm/día)

P : Precipitación del periodo (mm/día)

D : Lámina percolada (mm/día)

3.4.13. Balance hídrico en el lisímetro

La Evapotranspiración del cultivo de referencia se determinó mediante el método FAO Penman Monteith (Ecuación 1) ya que en su Manual 056 expresa que “este método se recomienda como el único método de determinación ETo con parámetros climáticos”.

Para estimar la ETo se utilizaron datos de Temperatura Media, Humedad Relativa, Velocidad de Viento y Horas de Insolación correspondientes a los meses del año de siembra del cultivo, mayo, junio, julio, agosto y setiembre del 2021, de las estaciones más cercanas del proyecto estimados a través de las ecuaciones lineales y polinómicas.

Para determinar la ETo por mes mediante la ecuación de Penman Monteith a través del Excel, se ingresó el promedio diario de Temperatura Media, Humedad Relativa, Velocidad de Viento y Horas de Insolación por mes, como resultado se obtuvo el valor de la ETo y Radiación promedio diario para los meses correspondientes, cabe precisar que según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006) la ETo es un cultivo Hipotético de pasto, con una altura asumida de 12 cm, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23.

En el caso de la ETo por etapa de desarrollo se ingresaron en el programa (Excel) los datos de Temperatura Media, Humedad Relativa, Velocidad de Viento y Horas de Insolación diarios, los resultados que se obtuvieron fueron ETo y Radiación diaria, luego estos resultados se agruparon de acuerdo con los días de duración de cada etapa de desarrollo, se promediaron obteniéndose la ETo y Radiación media diaria para cada etapa de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo y mediados de temporada)

3.4.14. Metodología para la obtención de ETc del PAPA

Para obtener la ETc del cultivo de papa se realizó el siguiente procedimiento:

- Se hizo un primer riego en el lisímetro hasta saturar el suelo, el volumen de agua aplicado fue previamente calculado en función de las ecuaciones 21,22 y 23 utilizando los parámetros físicos del suelo obtenidos en laboratorio, el volumen obtenido fue de 44 litros.
- Se sembró el cultivo a 72 horas después del primer riego o riego de saturación cuando el suelo estuvo a capacidad de campo y a partir de allí cuando la humedad del suelo disminuía con los días se utilizó el criterio de reposición de humedad crítica (Ecuaciones 13 y 14), después de la siembra se regó cada 7 días.
- Luego el volumen de agua almacenado en el recipiente de percolación fue medido, anotado y vaciado en cada riego para evitar problemas en la medición por exceso de agua percolada.
- Para medir el volumen de agua drenado en el recipiente se calculó el área de la superficie multiplicándolo por la altura de agua medida desde el fondo del recipiente hasta el espejo de agua.

- Se anotó en una libreta de campo el volumen de agua aplicado en el riego y la lámina de agua drenada.
- El proceso de riego y medición se repitió desde la siembra hasta la cosecha del cultivo cada vez que se regó anotando en la libreta de riego.
- Se construyó techo con Eternit transparente que cada vez que llueva se suministraba en el área del cultivo siendo así la precipitación nula.
- mediante el uso de la ecuación 08 se obtuvo la ETc del cultivo de la papa Canchan.
- finalmente se obtuvo el Kc del cultivo de la papa canchan.

3.4.15. Estimación del coeficiente de cultivo (Kc)

- El coeficiente de cultivo Kc de la papa Canchan se estimó tomando en cuenta las recomendaciones de la FAO, citadas en la revisión bibliográfica:
- Se identificó las cuatro etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada etapa (inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final del cultivo).
- Se determinó la ETc y ETo de acuerdo con las etapas establecidas en el paso anterior.
- Una vez que estuvieron agrupados en las cuatro fases del cultivo se usó la Ecuación 3 para determinar el Kc de cada etapa de desarrollo del cultivo en estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Humedad en el suelo

4.1.1. Cálculo del contenido de agua a Capacidad de Campo (CC)

$$CC = 23\%$$

4.1.2. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

$$PMP = 9\%$$

4.2. Desarrollo del Cultivo de Papa

Durante la investigación se observó que el cultivo de la Papa Canchan presentó un desarrollo en condiciones óptimas como se esperó tanto dentro como fuera del lisímetro (en toda la parcela experimental).

Por la fecha en la que se sembró se presentaron ausencia de lluvia por lo que no hubo la precipitación y también se realizó un techado del área del cultivo.

Se pudo observar que se logró anular el efecto de borde del cultivo ya que se instaló el lisímetro al centro de la parcela. Por otro lado, el riego fue constante por lo que las plantas no sufrieron escasez ni exceso de agua.

4.3. Análisis de textura y fertilidad de suelo

El análisis de la muestra del suelo es de textura franco arenoso, se caracteriza por tener reacción neutra, rica en materia orgánica y en nitrógeno total, rico en fosforo y en potasio, no tiene problemas de salinidad.

En el caso de sus características químicas se encontró que el suelo es no salino (CE menor a 0.339 dS/m), ligeramente ácido (pH entre 6.1 - 6.5), alto contenido de materia orgánica (M. O. mayor a 4.846 por ciento), alto presencia de fosforo (P menor a 9

mmp), contenido bajo de potasio (K menor a 273 ppm) y finalmente bueno en contenido de nitrógeno (N entre 0.05 – 0.10 por ciento)

Finalmente se tiene las características hidráulicas tales como la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) expresados en contenido volumétrico (%). Los valores obtenidos son 23% por ciento de contenido de humedad volumétrico a CC y 9% por ciento a PMP.

Tabla 7. *Análisis de Fertilidad del Suelo en el área experimental.*

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textual	pH	M.O%	Nt.%	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
38	61	29	10	franco arenoso	6.9	4.846	0.243	9	273	0.34

Fuente: Laboratorio de Suelos FCA-UNASAM

M N°	Da. g/cm ³	Dr. g/cm ³	C.C. %	P.M. %	Porosidad %
38	1.46	2.58	23	9	43.41

Fuente: Laboratorio de Suelos FCA-UNASAM

4.4. Condiciones Ambientales

Es muy importante conocer las condiciones ambientales de la zona de estudio ya que estas influyen en el desarrollo fisiológico del cultivo y en la evapotranspiración de esta y es por ello, que se requirió los datos de la estación meteorológica de Yungay, Huaraz y otras estaciones cercanas ya estimando con la ecuación lineal y polinómica se pudo obtener los datos meteorológicos del proyecto; estos datos pertenecen a los 12 meses del año 2021; fechas donde se desarrolló la investigación. A continuación, se muestra las principales variables climáticas como: temperatura, humedad relativa, radiación solar y la velocidad del viento.

• **Temperatura (°C)**

La variable temperatura también nos permitió obtener el ETo ya que tiene relación directa y participa como variable para el cálculo de la presión de saturación (es.) y la radiación neta (Rn) en la obtención de la ETo mediante el método FAO Penman – Monteith.

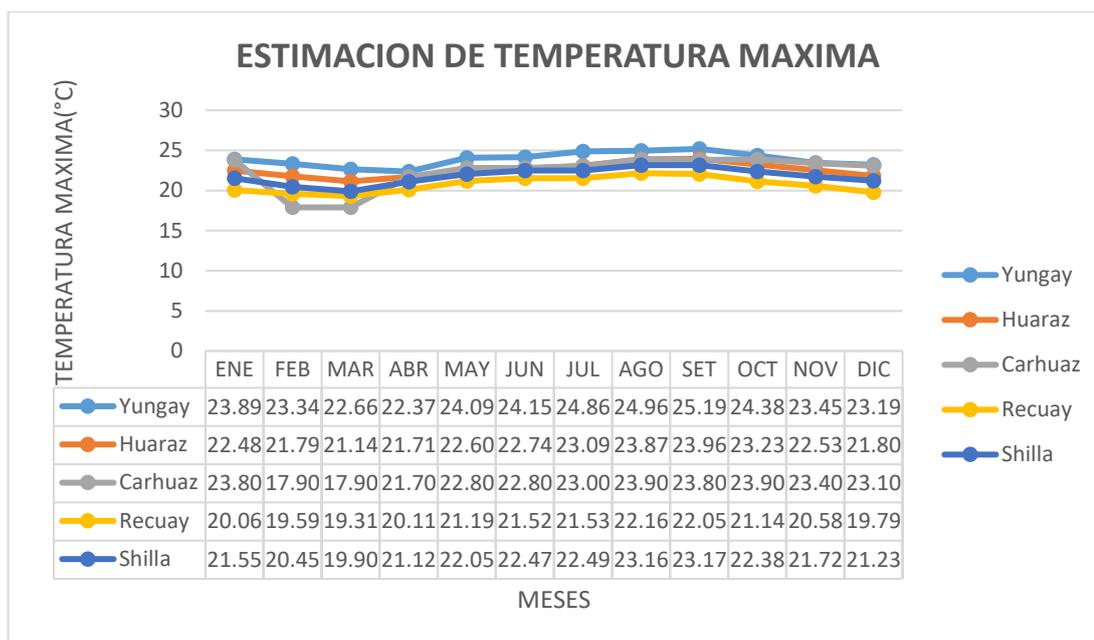


Figura 16. Temperatura máxima estimada con las estaciones cercanas

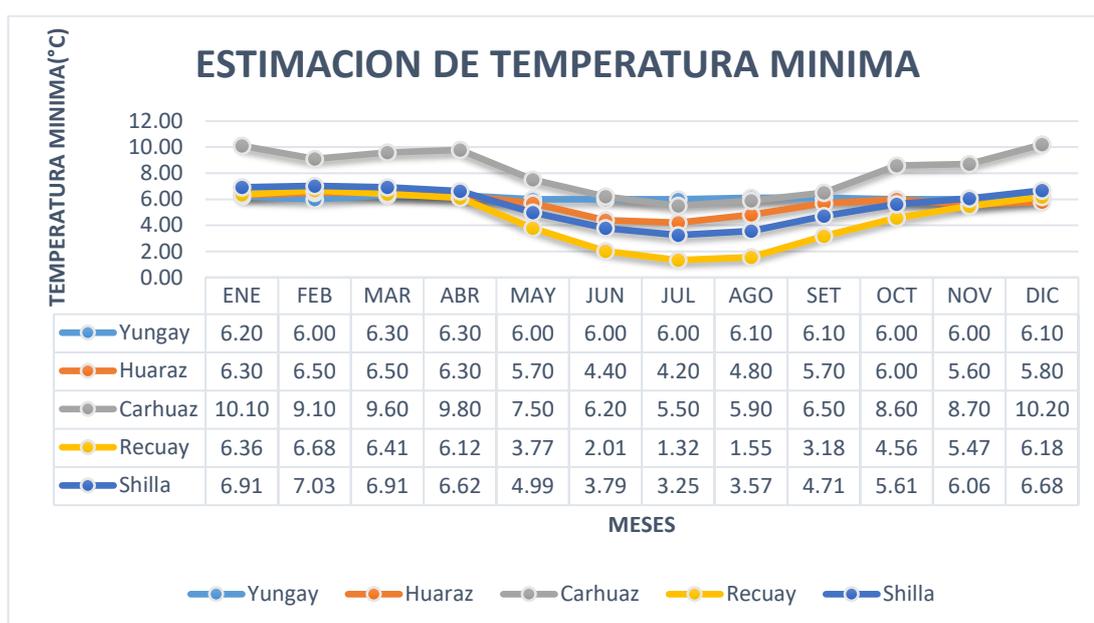


Figura 17. Temperatura Mínima del proyecto (Shilla).

- **Humedad relativa (%)**

Con respecto a la (Figura 18), que muestra la variación de la humedad relativa durante el proceso de la investigación, siendo su valor más bajo en promedio/día de 48.11% y la más alta de 100%. Esto indica un contenido de humedad alto por lo que contribuye al aporte del requerimiento del cultivo y al hidratamiento de sus hojas. Esta variable también es necesaria para la obtención de la presión real (e_a) variable participe en el cálculo de la ETo mediante Penman – Monteith

$$HR = \frac{e_0}{e^0(T)} * 100 \quad (25)$$

$$e^0(T) = 0,6108 * \exp \left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right]$$

$$e_a = e^0(T_{rocio}) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 T_{rocio}}{T_{rocio} + 237,3} \right]$$

$$e^0(T_{max}) = 0,6108 * \exp \left[\frac{17,27 * T_{max}}{T_{max} + 237,3} \right]$$

$$e^0(T_{min}) = 0,6108 * \exp \left[\frac{17,27 * T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right]$$

$$e_a = e^0(T_{min}) * \frac{HR_{max}}{100}$$

$$e_a = e^0(T_{max}) * \frac{HR_{min}}{100}$$

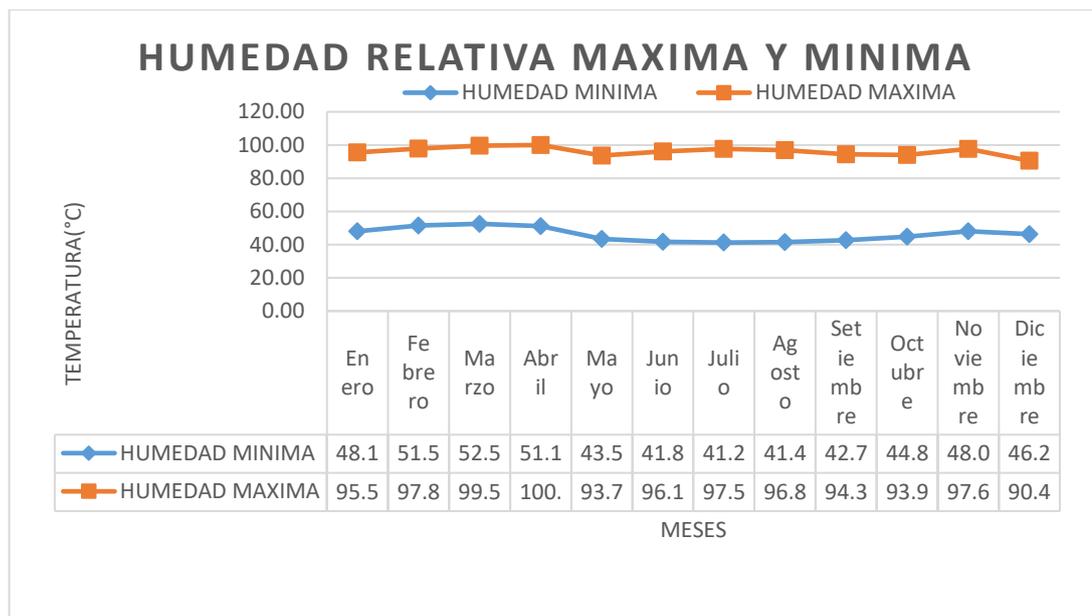


Figura 18. Temperatura mínima y máximo del proyecto de investigación (estación del proyecto).

- **Radiación solar (MJ/m²/día)**

La radiación solar indicada en la (Figura 19), es la fuente más importante de energía ambiental y tiene la relación prácticamente con todos los procesos fisiológicos del cultivo. Siendo la mínima y máxima de 29.319 M J m²/día y 39.375 MJ m²/día. También esta variable es la que más influye en ya que cuenta con un valor numérico alto en la ecuación Penman – Monteith.

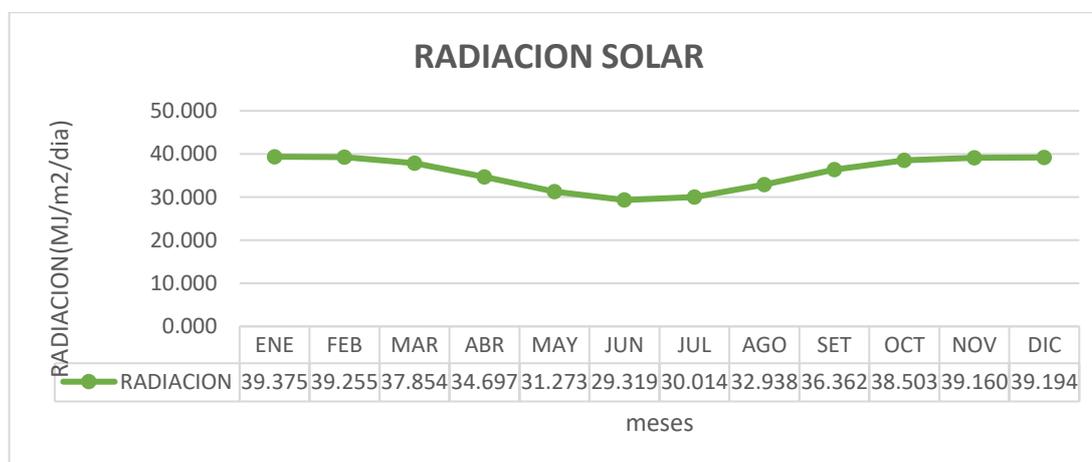


Figura 19. Registro de la radiación solar durante la investigación.

- **Velocidad de viento (m/s)**

Los datos mostrados en la (Figura 20) fueron previamente procesadas puesto que los valores recogidos en las estaciones cercanas fueron tomados a una altura de 11.07 m sobre el suelo y para esta investigación se requirió valores de velocidad de viento a 2 m, hecho que llevo a realizar la corrección previa.

Por otra parte, el viento también influye en el cultivo ya que es un factor que provoca la rápida deshidratación de las plantas, además de reseca el suelo, condicionando así la hora del riego. También en una variable dividiendo para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

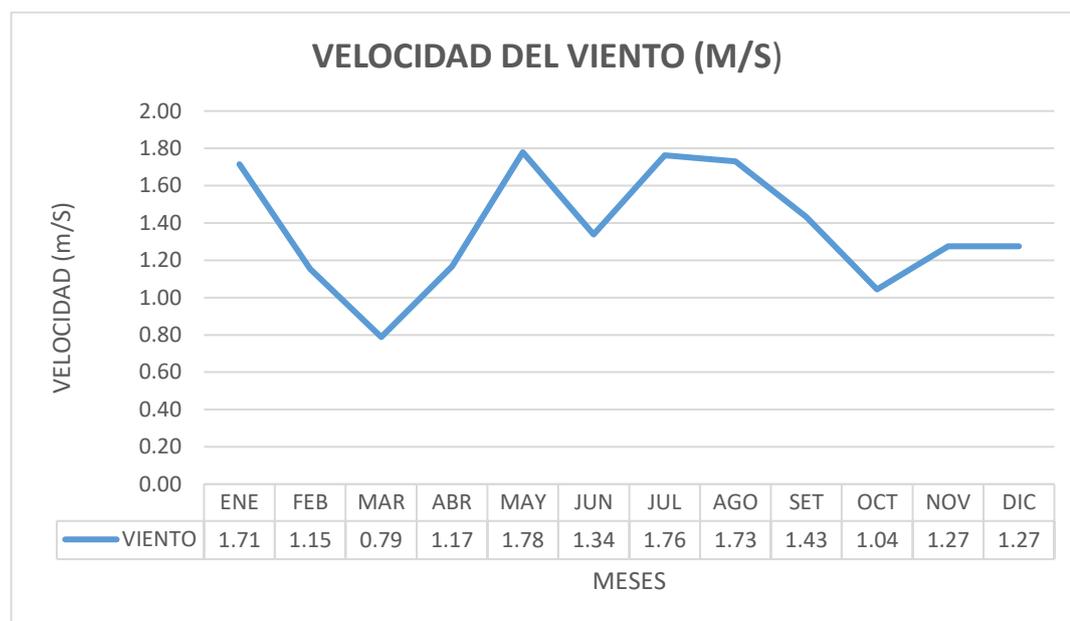


Figura 20. Registro de la velocidad del viento corregida a 2m de altura

4.5. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

La evapotranspiración del cultivo de referencia se obtuvo por el método de Penman Monteith de FAO.

Tabla 8. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o)

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	unidades
ET _o	6.08	4.98	4.81	4.42	4.92	4.9	5.1	5.35	4.98	4.84	5.68	6.85	mm/día

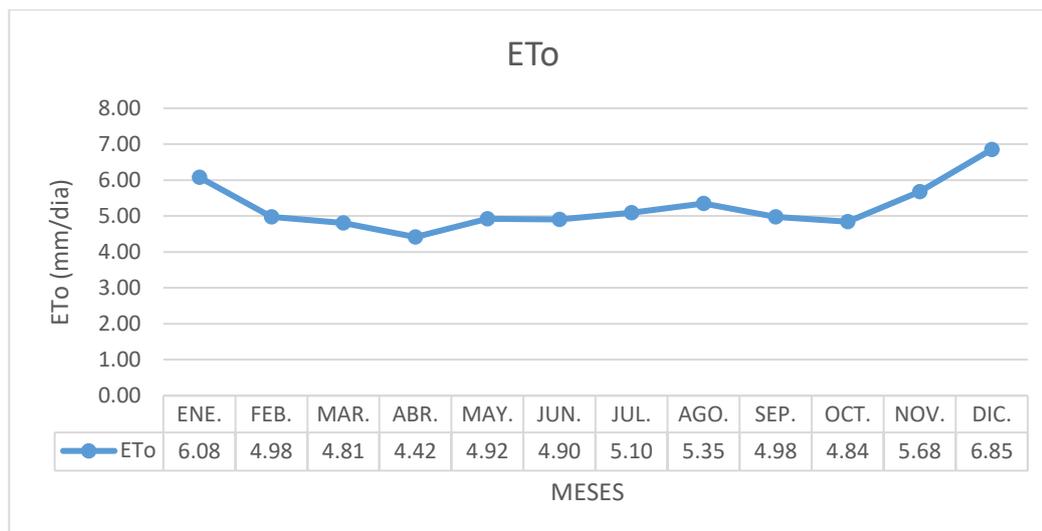


Figura 21. Eto (mm/día) estimado en la localidad de Incapu

4.6. Balance Hídrico

a. Riego y drenaje

En cuanto al riego aplicado al lisímetro, esta se realizó semanalmente conociendo los datos CC, PMP, Da, Profundidad radicular, área del lisímetro y conociendo la frecuencia de riego de usos y costumbres de la localidad de Incapu.

b. Volumen aplicado al lisímetro

El volumen aplicado a nuestro lisímetro, variable imprescindible para realizar nuestro balance hídrico. En la (Tabla 9) nos muestra un resumen de la lámina aplicada en milímetros (mm) durante las fases.

c. Precipitación

La precipitación no se ha considerado en visto que en la investigación se realizó bajo techo.

d. Agua drenada

El drenaje durante la investigación guarda relación con la ETC y la ETO y obviamente con las características hídricas del suelo, siendo el drenaje de mayor

volumen durante las primeras semanas de la investigación como indica la (Tabla 9).

4.7. Evapotranspiración del cultivo real (ETc)

Una vez obtenido las variables de riego, se pudo realizar el cálculo de la evapotranspiración real de cultivo (ETc) mediante el balance hídrico, el cual a modo de resumen se presenta en la (Tabla 9). La ETc, el cual representa el requerimiento hídrico del cultivo para las condiciones climáticas y de suelos en donde se aplicó la investigación, varía de forma ascendente durante su periodo vegetativo de 130 días; siendo las 4 primeras semanas las de menor requerimiento hídrico con un valor de la ETc . La ETc total requerida fue 481.36 mm.

Tabla 9. *Evapotranspiración del cultivo real (ETc).*

FASES	DIAS	FECHAS	LAMINA APLICADA (mm)	LAMINA DRENADA (mm)	ETc (mm)	ETo (mm)
FASE I	7	9-May	44.00	30.16	13.84	34.46
	14	16-May	44.00	28.95	15.05	34.46
	21	23-May	44.00	28.39	15.61	34.46
	25	27-May	25.14	13.07	12.07	19.69
FASE II	28	30-May	18.86	9.80	9.05	14.77
	35	6-Jun	44.00	14.07	29.93	34.35
	42	13-Jun	44.00	13.03	30.97	34.33
	49	20-Jun	44.00	11.42	32.58	34.33
FASE III	55	26-Jun	37.71	9.17	28.55	29.43
	56	27-Jun	6.29	1.53	4.76	4.90
	63	4-Jul	44.00	4.34	39.66	35.09
	70	11-Jul	44.00	2.73	41.27	35.67
	77	18-Jul	44.00	0.97	43.03	35.67
	84	25-Jul	44.00	7.00	37.00	35.67
	91	1-Ago	44.00	7.24	36.76	35.92
	98	8-Ago	44.00	9.65	34.35	37.48
FASE IV	100	10-Ago	12.57	5.51	7.06	10.71
	105	15-Ago	31.43	13.79	17.64	26.77
	112	22-Ago	44.00	27.25	16.75	37.48

	119	29-Ago	44.00	27.51	16.49	37.48
	126	5-Set	44.00	29.13	14.87	35.61
	130	9-Set	16.10	8.85	7.25	19.92

4.8. Duración de etapa fenológica del cultivo de papa canchan y duración del proyecto.

Fases de cultivo de papa canchan	Duración de las etapas de crecimiento del cultivo de papa (*)	Fases fenológicas del cultivo de papa (*)
I: Fase Inicial (02- 27 de mayo)	25 días	- Emergencia
II: Fase de desarrollo (28 may -26 de junio)	30 días	- Inicio de formación de estolones. - Inicio de tuberización.
III: Fase media (27 jun 10 de agost)	45 días	- Inicio de la floración - Final de la floración
IV: Fase final (15 ago-09 set).	30 días	- Final de la tuberización. - Madurez fisiológica
Total: 130 días		

4.9. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

Como ya se mencionó el coeficiente de cultivo es la relación entre la evapotranspiración real (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo). La ETo lo hemos determinado por la fórmula de Penman Monteith, entonces como resultado obtuvimos ETo de los meses. Los valores de Kc obtenidos para las diferentes etapas fenológicas durante todo el período vegetativo varían de acuerdo con el desarrollo del cultivo, como se muestra resumido en la (tabla 10).

Tabla 10. Coeficiente de cultivo (kc).

FASES	DIAS	FECHAS	LAMINA APLICADA (mm)	LAMINA DRENADA (mm)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc	Kc Promedio
FASE I	7	9-May	44.00	30.16	13.80	34.46	0.40	0.48
	14	16-May	44.00	28.95	15.10	34.46	0.44	
	21	23-May	44.00	28.39	15.60	34.46	0.45	
	25	27-May	25.14	13.07	12.10	19.69	0.61	
FASE II	28	30-May	18.86	9.80	9.05	14.77	0.61	0.86
	35	6-Jun	44.00	14.07	29.90	34.35	0.87	
	42	13-Jun	44.00	13.03	31.00	34.33	0.90	
	49	20-Jun	44.00	11.42	32.60	34.33	0.95	
	55	26-Jun	37.71	9.17	28.60	29.43	0.97	
FASE III	56	27-Jun	6.29	1.53	4.76	4.90	0.97	1.06
	63	4-Jul	44.00	4.34	39.70	35.09	1.13	
	70	11-Jul	44.00	2.73	41.30	35.67	1.16	
	77	18-Jul	44.00	0.97	43.00	35.67	1.21	
	84	25-Jul	44.00	7.00	37.00	35.67	1.04	
	91	1-Ago	44.00	7.24	36.80	35.92	1.02	
	98	8-Ago	44.00	9.65	34.40	37.48	0.92	
	100	10-Ago	12.57	5.51	7.06	10.71	0.66	
FASE IV	105	15-Ago	31.43	13.79	17.60	26.77	0.66	0.47
	112	22-Ago	44.00	27.25	16.80	37.48	0.45	
	119	29-Ago	44.00	27.51	16.50	37.48	0.44	
	126	5-Set	44.00	29.13	14.90	35.61	0.42	
	130	9-Set	16.10	8.85	7.25	19.92	0.36	

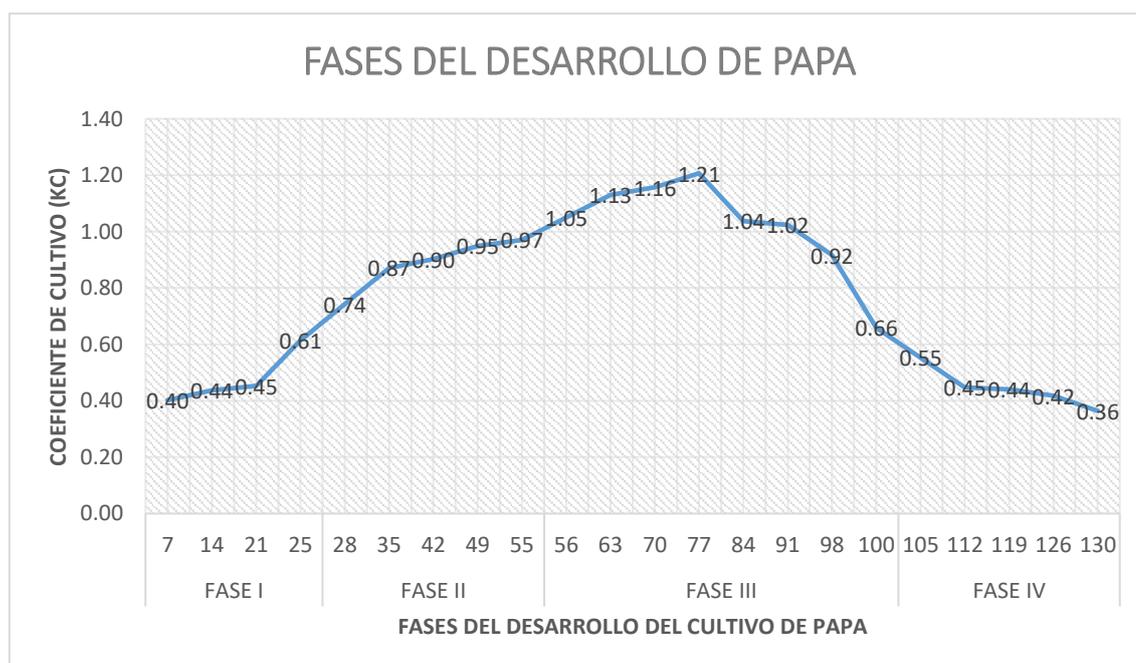


Figura 22. Coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de papa Canchan

V. CONCLUSIONES

- los valores para la evapotranspiración del cultivo (ETc) del Papa Canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 fueron los siguientes: 56.57 mm para la etapa inicial, 131.08 mm para la etapa de desarrollo, 243.89 mm en la etapa media y en la etapa final 73.08 mm, con lo que se obtuvo un total de 504.54 mm de agua evapotranspirada por el cultivo desde la siembra hasta la cosecha.
- Se determinó la evapotranspiración referencial del cultivo (ETo) mediante el método de la FAO Penman-Monteith siendo los siguientes valores; durante la etapa inicial: 123.06 mm, etapa de desarrollo: 147.27 mm, etapa de mediados de temporada: 231.11 mm, y finalmente la etapa final se obtuvo: 157.25 mm con lo que se obtuvo un total de 658.62 mm de agua evapotranspirada.
- Se determinó los coeficientes de Cultivo (Kc) para las cuatro fases de cultivo de Papa Canchan (*Solanum tuberosum L.*) INIA-303 donde se obtuvo los siguientes valores: 0.48 en la fase I, 0.86 en la fase II, 1.06 en la fase III y 0.47 para la fase IV.

VI. RECOMENDACIONES

- Por la facilidad que presenta el método del lisímetro de drenaje es aconsejable la realización de investigaciones de corte similar para diferentes pisos altitudinales, cultivos y zonas geográficas.
- Realizar investigaciones similares utilizando un mayor número de lisímetros de drenaje o diferentes tipos de lisímetro artesanales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 298(0).
- Benitez, A. (1980). *Pastos y Forrajes*. Editorial Universitaria de la Universidad Central del Ecuador.
- Cahuana, R., & Arcos, J. (1993). *Varietades de Papa más importantes en Puno y lineamientos para su caracterización*. Del programa interinstitucional de waru waru PIWA/PELT/INADE – IC/COTESU.
- Canllahui, M. (2013). *Determinacion de la evapotranspiracion y coeficiente de cultivo (Kc) en la produccion de papa (Solanum_tuberosum L.) Var. Silver en el CIP-ILLPA-Puno*.
- Canllahui, M. (2014). *Determinación de la evapotranspiración y coeficiente de cultivo (kc) en la producción de papa (Solanum tuberosum l.) var. Silver en el CIP Illpa-Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Castañón, G. (2000). *Ingenieria del Riego. Utilizacion Racional del Agua*. Spain Paraninfo S.A.
- Centro Internacional de la Papa. (2019). *Datos y cifras de la papa*. Centro Internacional de la Papa. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures>
- Egusquiza, B. (2000). *La papa: producción, transformación y comercialización* (U. A. La Molina (ed.)). International Potato Cente.
- Egusquiza, B., & Catalan, B. (2011). *Guia Tecnica Curso Taller Manejo integrado de papa*. UNALM -AGROBANCO.

- Egúsquiza, R., & Catalán, W. (2011). *Guía técnica de manejo integrado de la papa*. Universidad Nacional Agraria La Molina. http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Papa/MANEJO_INTEGR
- Fuentes, R. (1997). *Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- García, C., & Briones, S. (1997). *Sistemas De Riego Por Aspersión y Goteo* (Primera ed). Editorial Trillas.
- Garrafa, N. (2017). *Calculo de la demanda hídrica en el cultivo de papa variedad canchan (Solanum tuberosum) bajo riego por goteo en condiciones del Centro Agronómico Kayra-San Jerónimo - Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Goyal, R., & Gonzáles, F. (1990). *Manejo de Riego por Goteo*. Serv. De extensión agrícola del Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto de Mayagüez.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2012). *Papa INIA 303 - Canchán*.
- Jimenez, A. (2010). *Tuberosas y Raíces*. Texto universitario FAZ- UNSAAC.
- Llumiluisa, D. (2017). *Determinación del coeficiente de cultivo (kc) para tomate (Lycopersicon esculentum l.), bajo invernadero en la granja Santa Inés*. Universidad Técnica de Machala.
- Martín, A. (2019). *Efecto del número de tallos en los índices de crecimiento y el rendimiento de la papa (Solanum tuberosum L.) cultivar Ultra* (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
- Mossande, A., Manrique, O., & Cervantes, A. (2015). *Requerimientos hídricos del tomate*

en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24, 5–10.

Nagore, M., Echarte, L., Andrade, F., & Della, A. (2014). Crop evapotranspiration in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Research*, Vol. 155, 23–29.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429013003328?via%3Dihub>

Naranjo, H. (1991). *Aspectos de tecnología del cultivo de papa*. Fundación para el desarrollo agropecuario de papa Quito.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. ADO_DE_PAPA.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica. <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). Año Internacional de la Papa. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Oficina de intercambio de conocimiento, investigación y extensión.

Pérez, W., & Forbes, G. (2011). *Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina*. International Potato Center.

- Pérez, C., Lahera, I., Manrique, O., Victoria, M., & Díaz, C. (2010). *Coefficientes de cultivo para la programación del riego de la piña*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19, 13–27.
- Pérez, F. (2005). *Manual de Riego Por Goteo*. Autodema.
- Puppo, L., & García, M. (2010). *Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental, 14, 25–31.
- Reyes, L. (1992). *Hidrología Básica*. Concejo Nacional de la Ciencia y Tecnología.
- Serruto, A. (2003). *Riegos y Drenajes. Curso de actualización para examen de suficiencia profesional*. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Solano, M. (2000). *Botánica Sistemática*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Tarazona, N. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd), mediante el método del isímetro*.
- Vásquez Villanueva, A., & Chang Navarro, L. (1992). *El riego: principios básicos* (No. F06 V3).
- Vinicius, P., Vieira, D., Lourenço, P., Luiz, A., Ribeiro, B., Silva, D., & Junior, F. (2016). Determination of wheat crop coefficient (Kc) and soil water evaporation (Ke) in Maringa. *African Journal of Agricultural*, 11, 551–558.
<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/4DD195161491>
- Zanabria, E., & Benegas, M. (1997). *Entomología Económica sostenible*. Aquarium Impresiones.

VIII. ANEXOS

Cálculo del volumen de agua aplicado durante el primer riego:

Para calcular el volumen de agua a aplicar en el primer riego se utilizó el procedimiento edafológico, el cual se basa en la fórmula:

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{ET_c}{\text{Eficiencia de Riego}} * 100$$

$$FR (\text{días}) = \frac{Ln (\text{mm})}{ET_c \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)}$$

$$Ln = (C_c - PMP) * Da * \frac{\text{profundidad radicular}}{100}$$

Datos del campo:

$$C_c = 23 \%$$

$$Pmp = 9\%$$

$$Da = 1.46 \text{ g/cm}^3$$

Profundidad radicular = 40 cm

$$Fr = 7 \text{ días}$$

$$Ln = (23\% - 9\%) * 1.46 * \frac{50}{100}$$

$$Ln = 10.22 \text{ cm} \quad \text{donde } 1\text{cm} = 10\text{mm}$$

$$Ln = 10.22 \text{ cm} \frac{10 \text{ mm}}{1\text{cm}}$$

$$Ln = 102.2 \text{ mm}$$

Donde la FR = 7 días

$$FR (días) = \frac{Ln (mm)}{ETc \left(\frac{mm}{día}\right)}$$

$$ETc = \frac{102.2}{7}$$

$$ETc = 14.6 \text{ mm/día}$$

Aplicamos la ecuación de requerimiento de riego de agua conociendo los datos

$$ETc = 14.6 \text{ mm/día}$$

$$E.R = 40\%$$

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{ETc}{\text{Eficiencia de Riego}} * 100$$

$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = \frac{14.6}{40} * 100$$

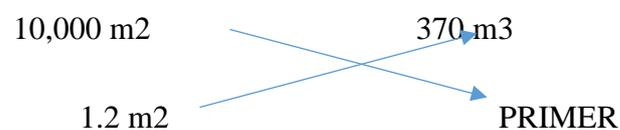
$$\text{Requerimiento de Riego (mm)} = 36.5 = 37 \text{ mm}$$

$$\text{Conociendo } 1 \text{ mm} = 10 \frac{m^3}{ha}$$

$$V = 37 \text{ mm} * \frac{10 \text{ m}^3}{1 \text{ mm} * ha}$$

$$V = 370 \frac{m^3}{ha}$$

la sección sembrada en lisímetro es de 1.2 m²



RIEGO=??

$$PRIMER\ RIEGO = \frac{370 * 1.2}{10,000}$$

$$PRIMER\ RIEGO = 0.044\ m^3\ en\ litros\ 1m^3 = 1000\ lts$$

$$PRIMER\ RIEGO = 0.044\ m^3 \frac{1000\ lts}{1m^3}$$

$$PRIMER\ RIEGO = 44\ lts$$

En mm **PRIMER RIEGO = 44 mm**

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS PARA LA OCALIDAD.

- **Determinación de presión:**

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26}$$

P : Presión atmosférica (kPa)

Z : Elevación sobre el nivel del mar (m)

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0,0065 * 3113}{293} \right)^{5,26}$$

$$P = 65.9\ Kpa\ donde\ 1kpa = 10\ mbar$$

$$P = 740\ mbar$$

Anexo 1: Velocidad de viento estimación para el proyecto

Altitud	Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
2527	Yungay	1.53	1.53	1	1.6	2.47	1.83	2.27	2.27	2	1.43	1.13	0.23	1.61
3109	Huaraz	2.43	1.89	1.59	1.85	2.25	2.02	2.19	2.2	2.1	1.86	1.68	1.34	1.95

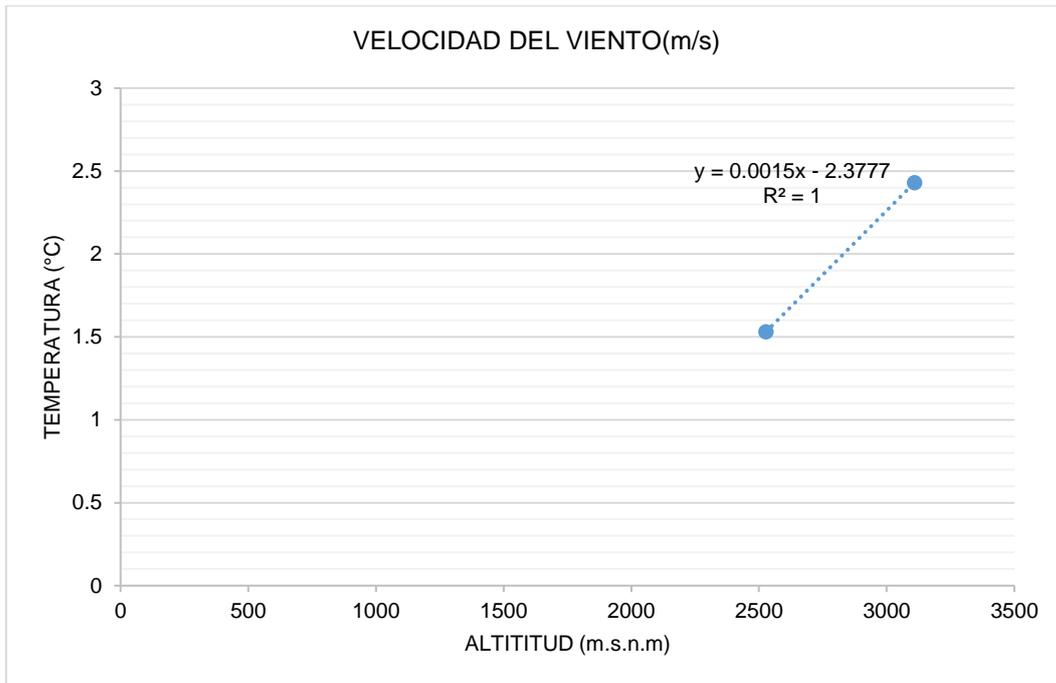
Se estima a través de la ecuación:

$$Y = AX + B$$

Datos:

ALTITUD	ENERO
2527	1.53
3109	2.43
3113	?

Anexo 2: Velocidad del viento(m/s)



Se tiene la ecuación lineal:

$$y = 0.0015x - 2.3777$$

Se reemplaza la altitud en la ecuación:

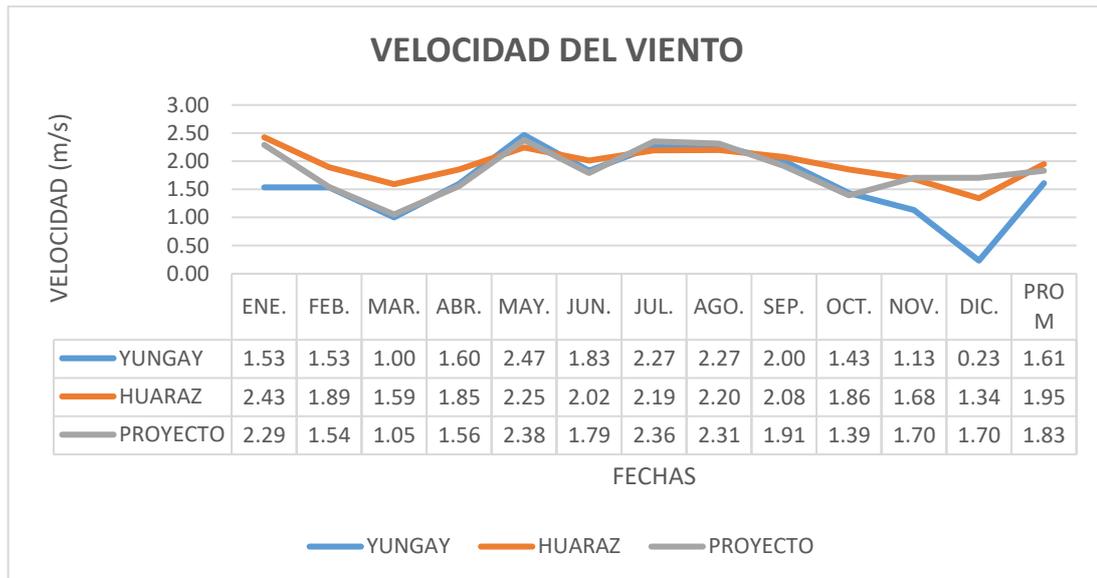
$$y = 0.0015 * 3113 - 2.3777$$

$$y = 2.2918$$

Anexo 3: Velocidad del viento para los siguientes meses

Altitud	Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
2527	Yungay	1.53	1.53	1	1.6	2.47	1.83	2.27	2.27	2	1.43	1.13	0.23	1.61
3079	Huaraz	2.43	1.89	1.59	1.85	2.25	2.02	2.19	2.2	2.1	1.86	1.68	1.34	1.95
3113	Shilla	2.29	1.54	1.05	1.56	2.38	1.79	2.36	2.31	1.9	1.39	1.7	1.7	1.83

Anexo 4: Relación del viento con la altura



Relación del viento con la altura:

$$u_2 = \frac{u_z * 4.87}{\ln * (67,8z - 5,42)}$$

Donde:

U₂: velocidad del viento a 2m sobre la superficie (m/s)

U_z: velocidad del viento a medida a Z m sobre la superficie (m/s)

Z: altura de medición sobre la superficie (m)

Para mes de Enero:

$$u_2 = \frac{2.29 * 4.87}{\ln * (67,8 * 3113 - 5,42)}$$

$$u_2 = 1.71 \text{ m/s}$$

Anexo 5: Velocidad

altitud	Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2527	Yungay	1.53	1.53	1	1.6	2.47	1.83	2.27	2.27	2	1.43	1.13	0.23
3079	Huaraz	2.43	1.89	1.59	1.85	2.25	2.02	2.19	2.2	2.1	1.86	1.68	1.34
3113	Shilla	2.29	1.54	1.05	1.56	2.38	1.79	2.36	2.31	1.9	1.39	1.7	1.7
	Veloc.(2m)	1.71	1.15	0.79	1.17	1.78	1.34	1.76	1.73	1.4	1.04	1.27	1.27

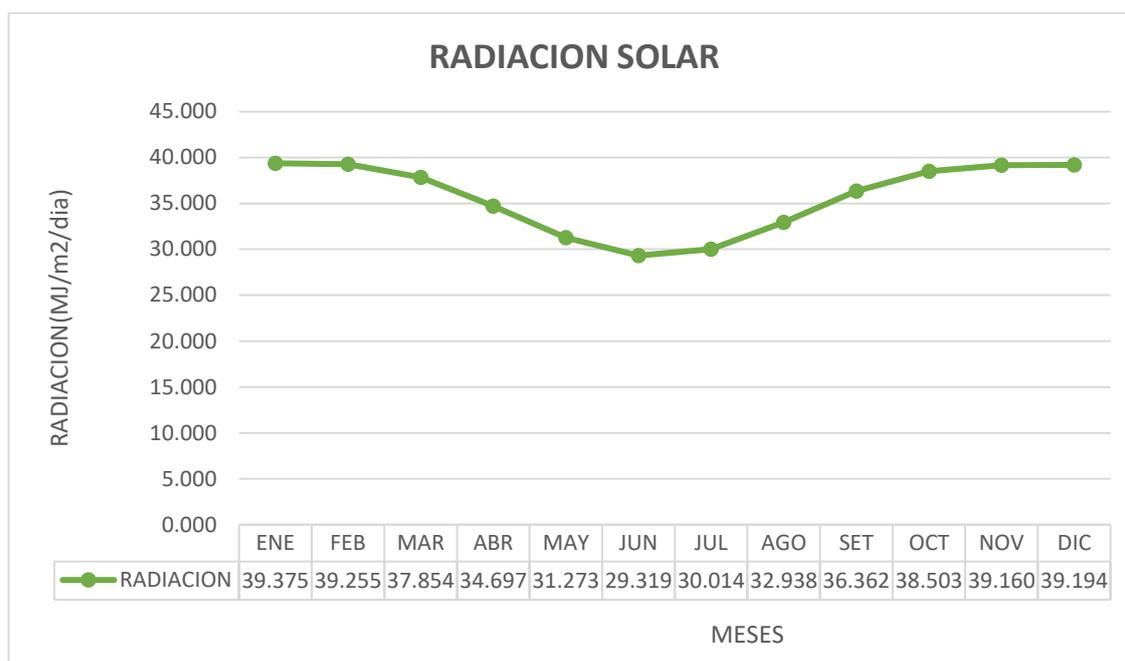
Anexo 6: Radiación extraterrestre (Ra) para el mes de enero

CALCULO DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE(Ra)			
		grados	minutos
latitud	proyecto-enero	9	30
	grados decimales	-9.5	
	grados radianes	-0.17	
	#día del año J	15	
	distancia relativa(dr)	1.032	
	declinacion solar (δ)	-0.37	
	sen(Ψ)*sen(δ)	0.06	
	cos(Ψ)*cos(δ)	0.919	
	angulo de radiacion(ws)	1.636	
	constante solar (Gsc)	0.082	
	Radiacion estraterrestre(Ra)	39.375	

Anexo 7: Radiación extraterrestre (Ra)(MJ/día)

CALCULO DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE(Ra)												
Descripción	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
(Ra)	39.375	39.255	37.850	34.697	31.273	29.000	30.000	33.000	36.400	38.500	39.200	39.190

Anexo 8: Radiación solar(MJ/m2/día)



Anexo 9: Humedad relativa(%)

Estaciones	Altitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Lampas Alto N°2	4030	75	77	76	71	64	57	56	58	60	65	66	70
Conococha	4020	79	83	83	80	71	59	59	59	63	70	70	73
Lampas Bajo	3950	72	77	76	73	66	58	59	60	61	68	68	70
Querococha	3955	70	72	71	66	61	58	57	58	60	64	63	66
San Lorenzo	3750	65	67	68	64	58	56	56	56	59	61	60	61
Huaraz	3207	71	74	76	75	70	62	63	61	66	72	68	68
Anta	2748	66	70	70	68	64	62	60	62	61	62	61	63
Caraz	2000	70	72	72	71	70	68	67	64	66	61	67	68
Safuna	4275	73	76	77	75	67	67	59	61	67	69	67	72
Chavín	3210	83	84	84	83	84	81	81	80	82	82	82	81

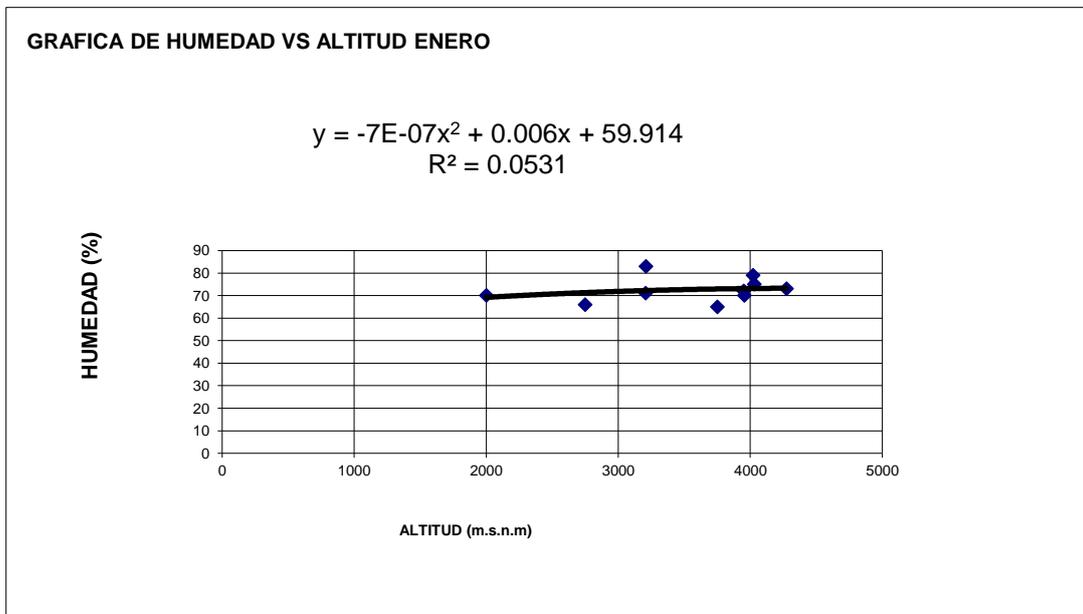
Se estima a través de la ecuación polinómica:

$$Y = CX^2 + BX + A$$

DATOS:

ESTACIONES	ALTITUD	ENE
Lampas Alto N°2	4030	75
Conococha	4020	79
Lampas Bajo	3950	72
Querococha	3955	70
San Lorenzo	3750	65
Huaraz	3207	71
Anta	2748	66
Caraz	2000	70
Safuna	4275	73
chavín	3210	83

Anexo 10: Humedad vs Altitud enero



Se tiene la ecuación lineal para el mes de Enero:

$$A = 59.914$$

$$B = 0.006$$

$$C = -0000007$$

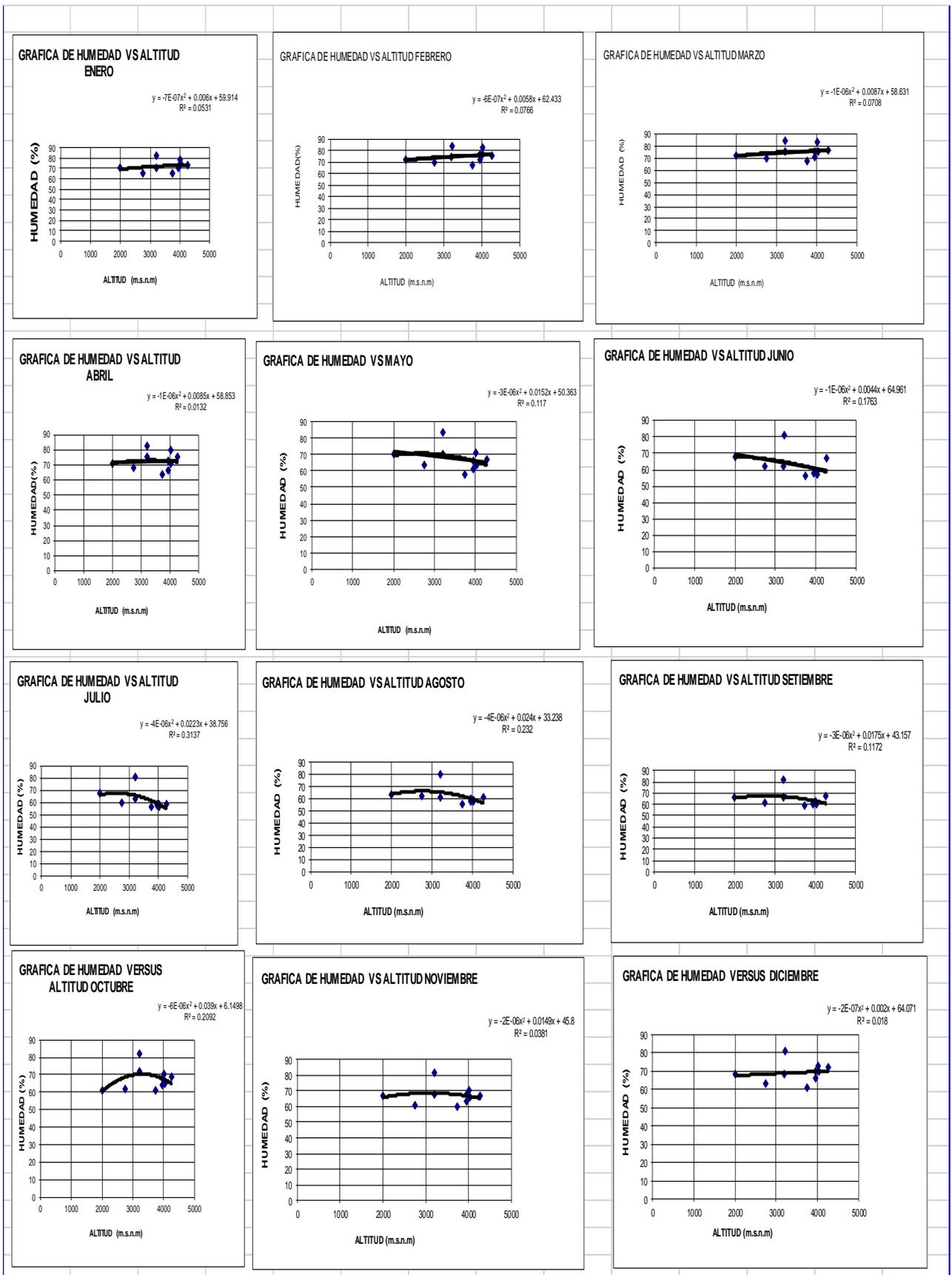
$$Y = CX^2 + BX + A$$

Se reemplaza la altitud $Z = 3113$ msnm en la ecuación:

$$Y = -0.0000007(3113)^2 + 0.006(3113) + 59.914$$

$$y = 74.67$$

Anexo 11: Humedad vs altitud de cada mes



Anexo 12: Humedad media mensual (E) en función a la altitud(H)

MEDIA MENSUAL (E) EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD (H)

MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN			r_{cal}	r_{crit}	$r_{cal} > r_{crit}$
	A	B	C			
Enero	59.914	0.006	-0.0000007	0.23	0.532	si
Febrero	62.433	0.0058	-0.0000006	0.277	0.532	si
Marzo	58.631	0.0087	-0.0000001	0.266	0.532	si
Abril	58.853	0.0085	-0.0000001	0.115	0.532	si
Mayo	50.363	0.0152	-0.0000003	0.342	0.532	si
Junio	64.961	0.0044	-0.0000001	0.420	0.532	si
Julio	38.756	0.0223	-0.0000004	0.177	0.532	si
Agosto	33.238	0.0240	-0.0000004	0.482	0.532	si
Septiembre	43.157	0.0175	-0.0000003	0.342	0.532	si
Octubre	6.1498	0.039	-0.0000006	0.457	0.532	si
Noviembre	45.8000	0.0149	-0.0000002	0.195	0.532	si
Diciembre	64.071	0.002	-0.0000002	0.424	0.532	si

Anexo 13: Humedad relativa media mensual

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL ESTIMADA PARA LA ZONA DEL PROYECTO

Altitud media = **3113** msnm

MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN			HUMEDAD REL. MEDIA MENSUAL (mm)
	A	B	C	
Enero	59.914	0.006	-0.0000007	71.81
Febrero	62.433	0.0058	-0.0000006	74.67
Marzo	58.631	0.0087	-0.0000001	76.02
Abril	58.853	0.0085	-0.0000001	75.62
Mayo	50.363	0.0152	-0.0000003	68.61
Junio	64.961	0.0044	-0.0000001	68.97
Julio	38.756	0.0223	-0.0000004	69.41
Agosto	33.238	0.024	-0.0000004	69.19
Septiembre	43.157	0.0175	-0.0000003	68.56
Octubre	6.1498	0.039	-0.0000006	69.41
Noviembre	45.8	0.0149	-0.0000002	72.8
Diciembre	64.071	0.002	-0.0000002	68.36
HUMED MEDIA ANUAL				71.12

Anexo 14: Temperatura mínima(°C)

Estaciones	Altitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Yungay	2527	6.2	6	6.3	6.3	6	6	6	6.1	6.1	6	6	6.1
Huaraz	3052	6.3	6.5	6.5	6.3	5.7	4.4	4.2	4.8	5.7	6	5.6	5.8
Carhuaz	2638	10.1	9.1	9.6	9.8	7.5	6.2	5.5	5.9	6.5	8.6	8.7	10.2
Recuay	3422	6.36	6.68	6.41	6.12	3.77	2.01	1.32	1.6	3.18	4.56	5.47	6.18

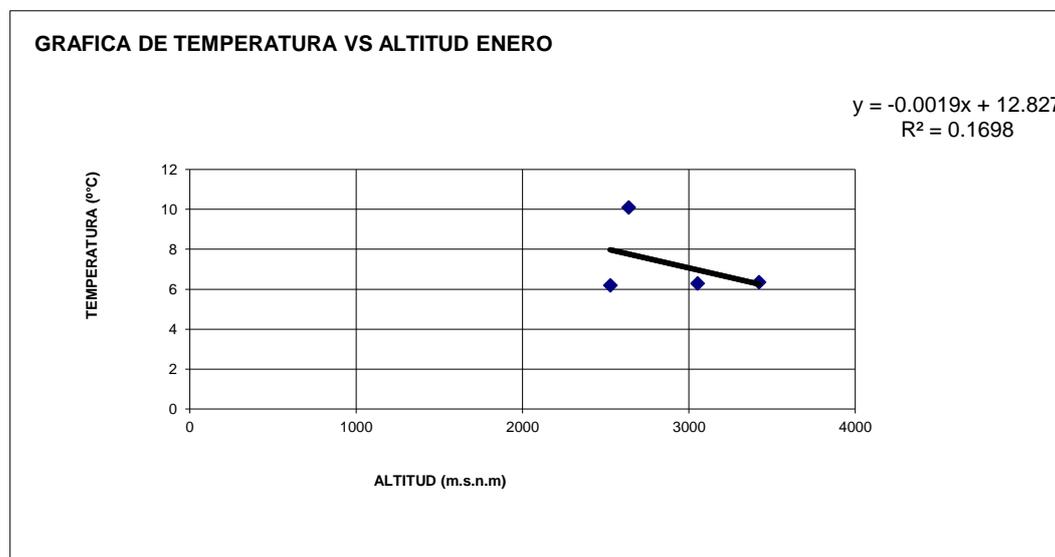
Se estima a través de la ecuación:

$$Y = AX + B$$

DATOS

ESTACIONES	ALTITUD	ENE
Yungay	2527	6.20
Huaraz	3052	6.30
Carhuaz	2638	10.10
Recuay	3422	6.36

Anexo 15: Temperatura vs altitud enero



Se tiene la ecuación lineal para el mes de Enero:

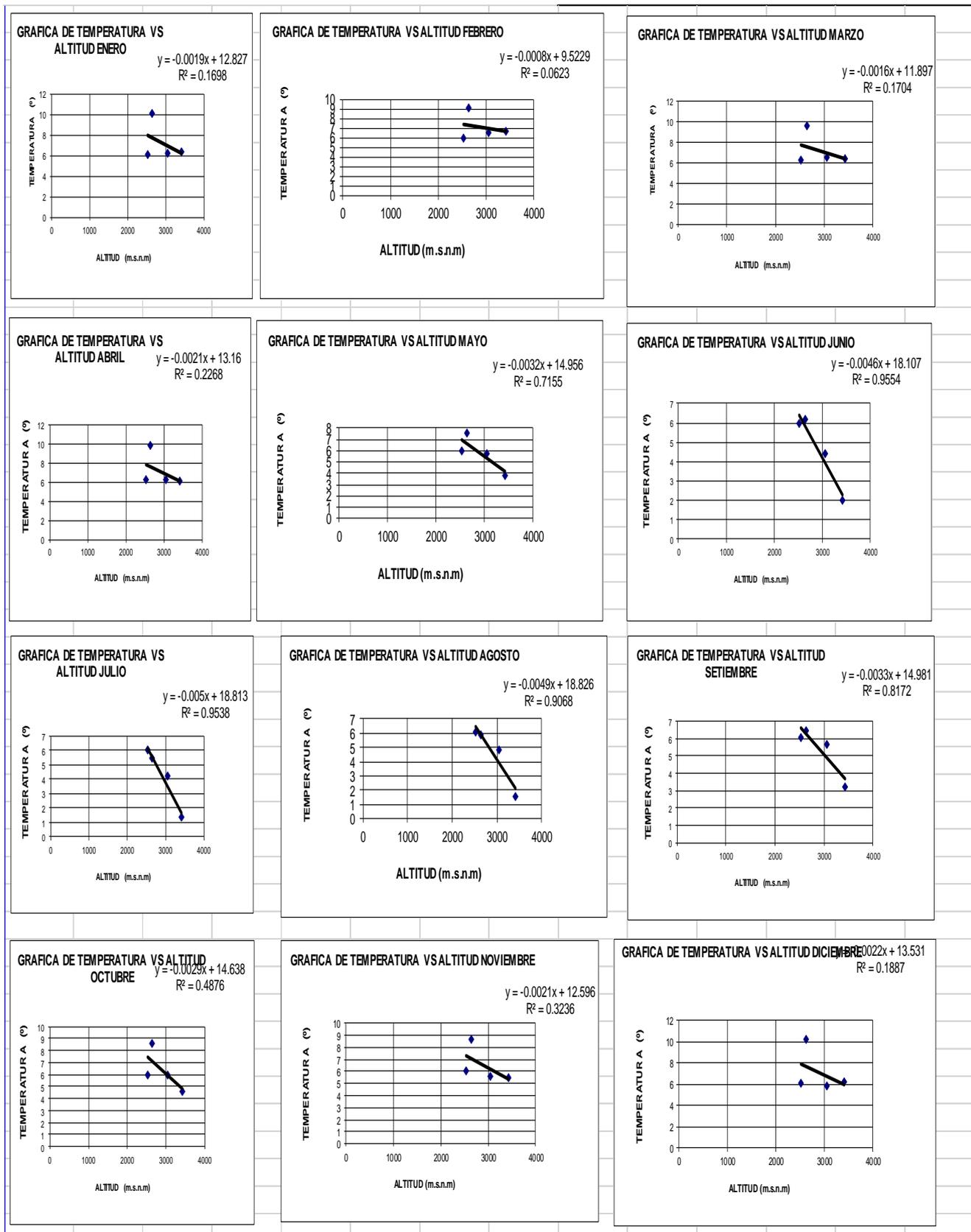
$$y = -0.0019x + 12.827$$

Se reemplaza la altitud $Z = 3113$ msnm en la ecuación:

$$y = -0.0019 * 3113 + 12.827$$

$$y = 6.91$$

Anexo 16: Temperatura vs altitud de cada mes



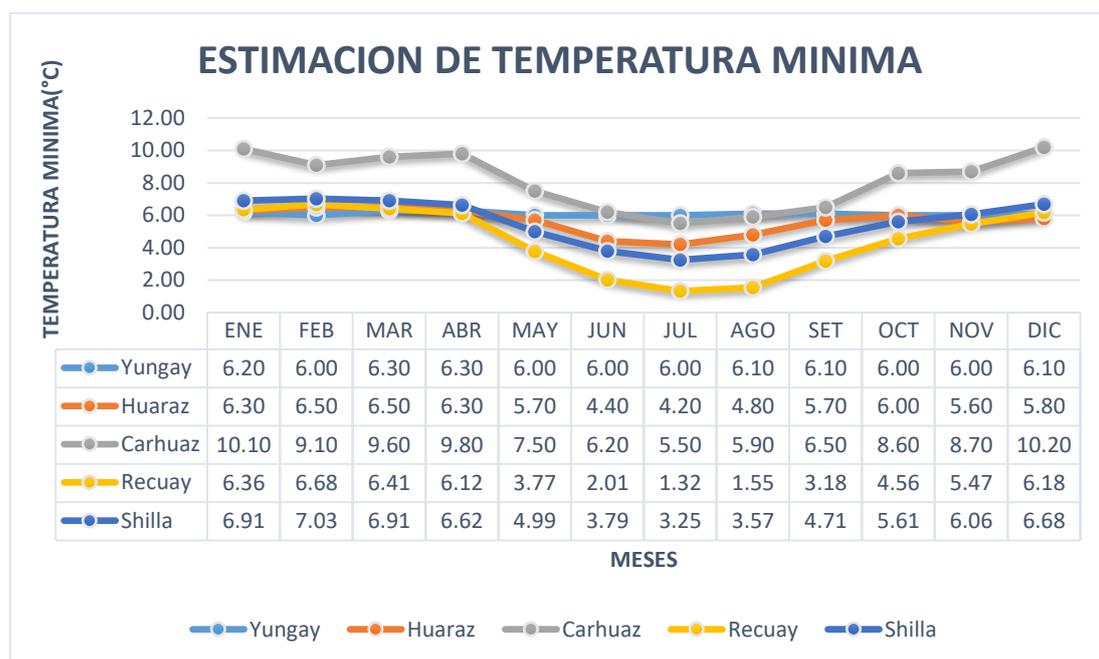
Anexo 17: Temperatura media mensual (E) en función de la altitud (H)

ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL PARA HALLAR LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (E) EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD (h)					
MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN		r_{cal}	r_{crit}	$r_{cal} > r_{crit}$
	A	B			
Enero	12.827	-0.0019	0.941	0.532	si
Febrero	9.520	-0.0008	0.951	0.532	si
Marzo	11.890	-0.0016	0.957	0.532	si
Abril	13.160	-0.0021	0.953	0.532	si
Mayo	14.956	-0.0032	0.941	0.532	si
Junio	18.107	-0.0046	0.925	0.532	si
Julio	18.813	-0.0050	0.924	0.532	si
Agosto	18.826	-0.0049	0.923	0.532	si
Septiembre	14.981	-0.0033	0.927	0.532	si
Octubre	14.638	-0.0029	0.926	0.532	si
Noviembre	12.596	-0.0021	0.927	0.532	si
Diciembre	13.531	-0.0022	0.926	0.532	si

Anexo 18: Temperatura media mensual

PARA LA ZONA DEL PROYECTO			
Altitud media =		3113	msnm
MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN		TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (°C)
	A	B	
Enero	12.827	-0.0019	6.91
Febrero	9.52	-0.0008	7.03
Marzo	11.89	-0.0016	6.91
Abril	13.16	-0.0021	6.62
Mayo	14.956	-0.0032	4.99
Junio	18.107	-0.0046	3.79
Julio	18.813	-0.005	3.25
Agosto	18.826	-0.0049	3.57
Septiembre	14.981	-0.0033	4.71
Octubre	14.638	-0.0029	5.61
Noviembre	12.596	-0.0021	6.06
Diciembre	13.531	-0.0022	6.68
Temp. Media Anual			5.51

Anexo 19: Temperatura mínima (°C)



Anexo 20: Temperatura Máxima (°C)

Estaciones	Altitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Yungay	2527	23.89	23.34	22.66	22.4	24.09	24	25	25	25.2	24.4	23.5	23.2
Huaraz	3052	22.48	21.79	21.14	21.7	22.6	23	23	23.9	24	23.2	22.5	21.8
Carhuaz	2638	23.8	17.9	17.9	21.7	22.8	23	23	23.9	23.8	23.9	23.4	23.1
Recuay	3422	20.06	19.59	19.31	20.1	21.19	22	22	22.2	22.1	21.1	20.6	19.8

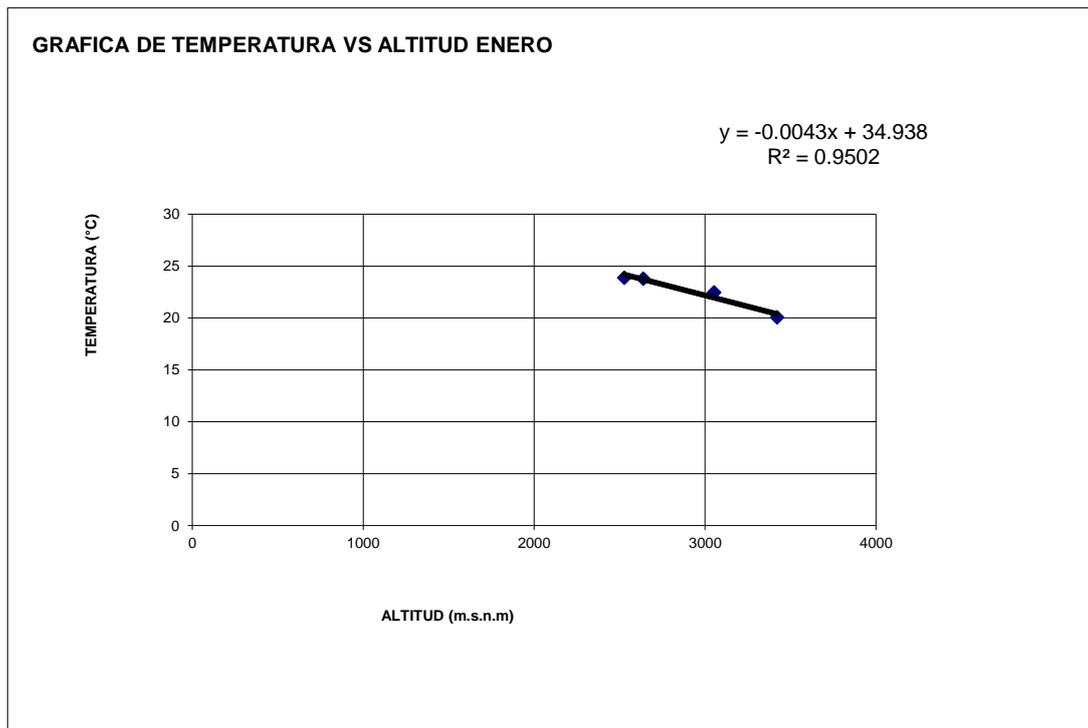
Se estima a través de la ecuación:

$$Y = AX + B$$

DATOS

ESTACIONES	ALTITUD	ENE
Yungay	2527	23.89
Huaraz	3052	22.48
Carhuaz	2638	23.80
Recuay	3422	20.06

Anexo 21: Temperatura vs altitud



Se tiene la ecuación lineal para el mes de Enero:

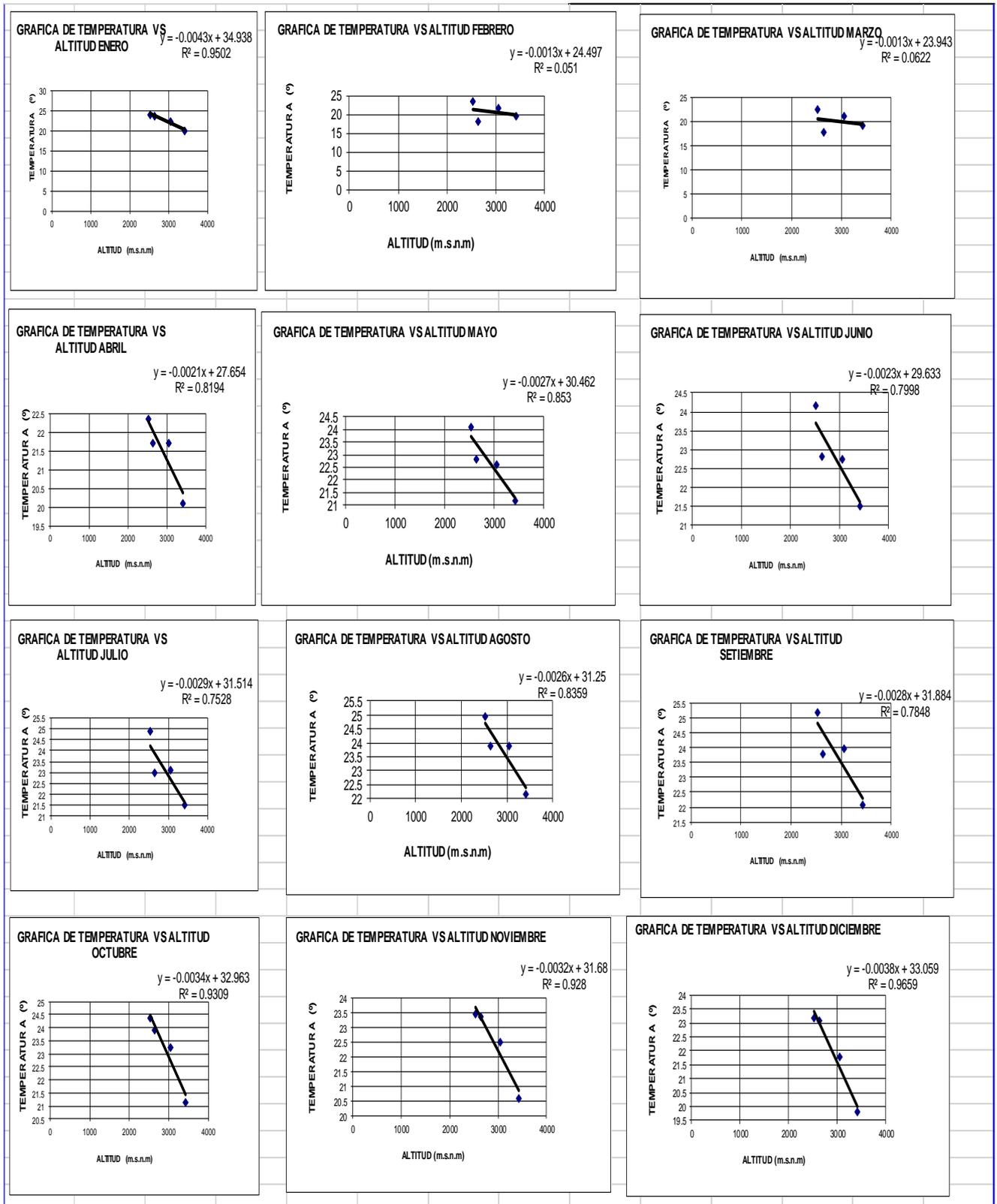
$$y = -0.0043x + 34.938$$

Se reemplaza la altitud $Z = 3113$ msnm en la ecuación:

$$y = -0.0043 * 3113 + 34.938$$

$$y = 21.55$$

Anexo 22: Temperatura vs altitud de cada mes



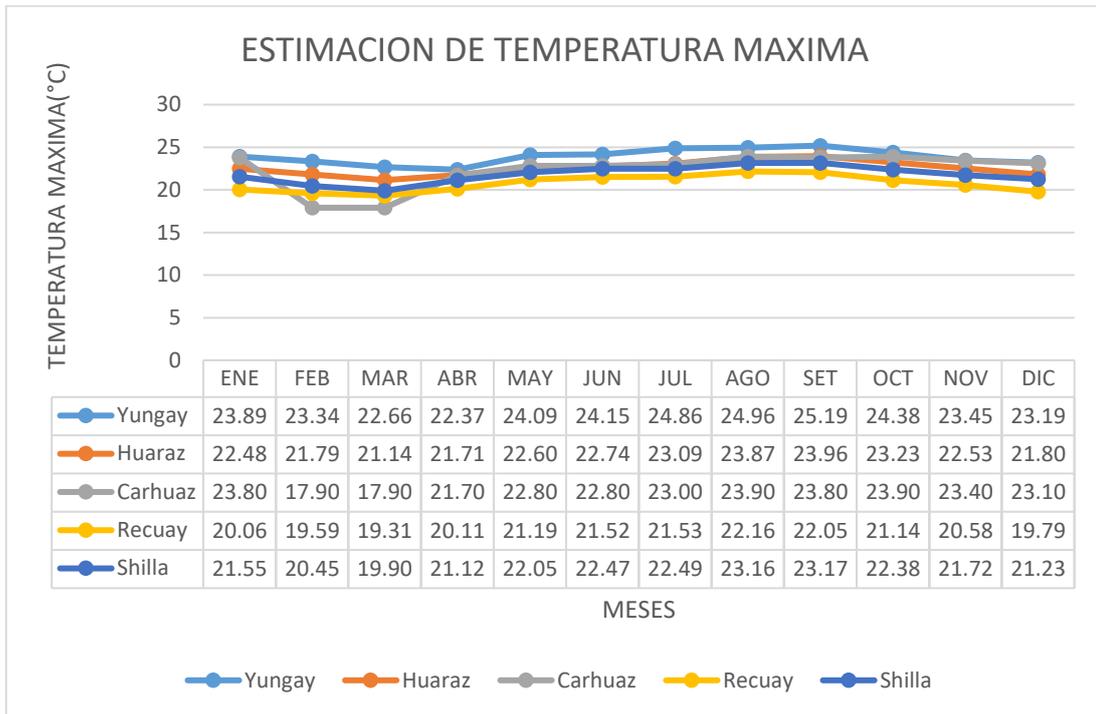
Anexo 23: Temperatura media mensual (E) en función de la altitud (H)

ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL PARA HALLAR LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (E) EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD (h)					
MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN		r _{cal}	r _{crít}	r _{cal} > r _{crít}
	A	B			
Enero	34.94	-0.0043	0.941	0.532	si
Febrero	24.5	-0.0013	0.951	0.532	si
Marzo	23.94	-0.0013	0.957	0.532	si
Abril	27.65	-0.0021	0.953	0.532	si
Mayo	30.46	-0.0027	0.941	0.532	si
Junio	29.63	-0.0023	0.925	0.532	si
Julio	31.51	-0.0029	0.924	0.532	si
Agosto	31.25	-0.0026	0.923	0.532	si
Septiembre	31.88	-0.0028	0.927	0.532	si
Octubre	32.96	-0.0034	0.926	0.532	si
Noviembre	31.68	-0.0032	0.927	0.532	si
Diciembre	33.06	-0.0038	0.926	0.532	si

Anexo 24: Temperatura media mensual

ARA LA ZONA DEL PROYECTO			
Altitud media =		3113	msnm
MES	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN		TEMPERATURA MINIMA MENSUAL (° C)
	A	B	
Enero	34.94	-0.0043	21.55
Febrero	24.50	-0.0013	20.45
Marzo	23.94	-0.0013	19.9
Abril	27.65	-0.0021	21.12
Mayo	30.46	-0.0027	22.05
Junio	29.63	-0.0023	22.47
Julio	31.51	-0.0029	22.49
Agosto	31.25	-0.0026	23.16
Septiembre	31.88	-0.0028	23.17
Octubre	32.96	-0.0034	22.38
Noviembre	31.68	-0.0032	21.72
Diciembre	33.06	-0.0038	21.23
Temp. Media Anual			21.81

Anexo 25: Estimación de temperatura máxima



Anexo 26: Determinación de ETo por Ecuación de FAO Penman-Monteith

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

ENTRADAS:

P = presión atmosférica (mbar); **T° min** = temperatura mínima del aire (°C); **T° max** = temperatura máxima (°C)

T° = temperatura media (°C); **HRmin** = humedad relativa mínima (%); **HRmax** = humedad relativa máxima (%)

HR = humedad relativa media (%); **V2** = velocidad del viento a 2 m de altura (m/s); **Lat** = latitud (en grados)

Rad sol = radiación solar incidente (onda corta) (MJ/m2/dia); fecha

PARAMETROS AUXILIARES:

lambda = calor latente de vaporización (MJ/kg); **delta** = declividad de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

gama = constante psicrométrica (kPa/°C); **ea(Tmin)** = presión de vapor de saturación en la temperatura mínima (kPa)

ea(Tmax) = presión de vapor de saturación en la temperatura máxima (kPa); **ed(Tmin)** = presión de vapor actual en la temperatura mínima (kPa)

ed(Tmax) = presión de vapor actual en la temperatura máxima (kPa); **ed** = presión de vapor actual media (kPa)

rô = densidad atmosférica (kg/m3); **Tkv** = temperatura virtual (°K); **DPV** = déficit de la presión de vapor (kPa)

Ra = radiación extraterrestre (MJ/m2/dia); **J** = día juliano; **dr** = distancia relativa Tierra-Sol (rad); **teta** = declinación solar (rad)

Omega-s = ángulo horario del sol (rad); **gama*** = constante psicrométrica modificada (kPa/°C)

ENTRADAS:

día:	15
mes:	1
año:	2021
P:	740

Lat:	12
T° min:	6.91
T° max:	21.6
T° pro:	14.2322

HRmin:	48
HRmax:	96
HR:	71.81
V2:	1.71
Rad sol:	39.4

Datos opcionales

ac:	
bc:	
a1:	
b1:	

CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS AUXILIARES:

lambda:	2.4674
delta:	0.11557

ea(Tmin):	0.99584118
ea(Tmax):	2.57260613

ea:	1.784224
ed:	1.094389

dr:	1.03190598
teta:	-0.3730551

gama:	0.04884
Tkv:	289.008
rô:	0.89258

ed(Tmin):	0.95109794
ed(Tmax):	1.23767909

DPV:	0.689835
J:	15

ômega-s:	1.65408342
N:	12.6362665
gama*:	0.07647288
Ra:	40.0671486

Rns:	30.3188
Rso:	30.0504

f:	1.41890838
emis:	0.19354176

Rb:	-9.221003
Rn:	21.0978

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERÊNCIA (ET_o):

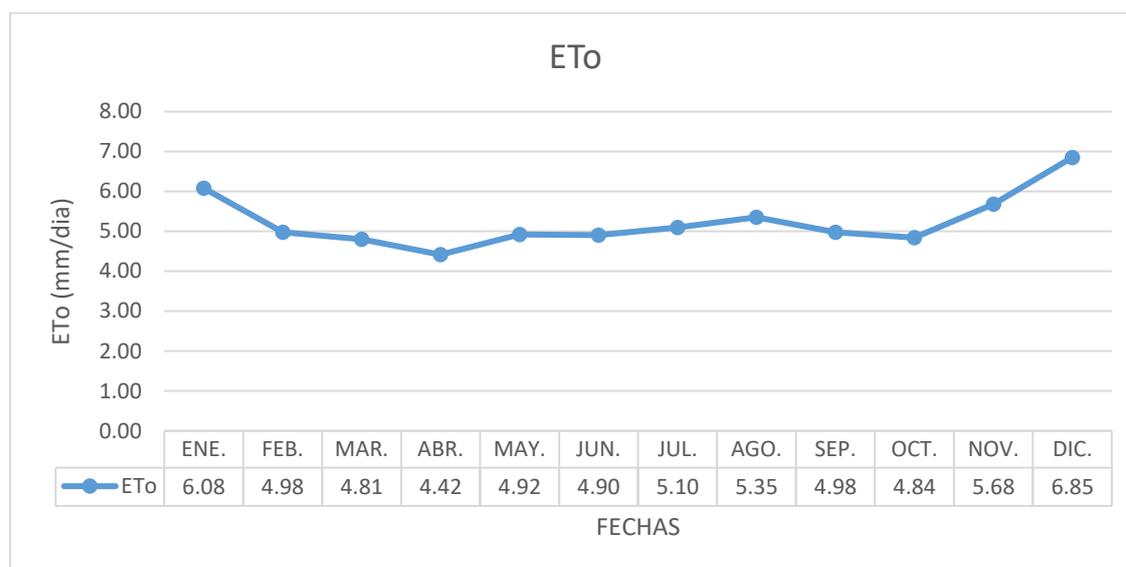
ETAero:	0.93728	ETrad:	5.14565205	ET _o :	6.08	mm/dia
---------	---------	--------	------------	-------------------	-------------	---------------

Anexo 27: ET_o de cada mes

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	unidades
ET _o	6.08	4.98	4.81	4.42	4.92	4.9	5.1	5.35	4.98	4.84	5.68	6.85	mm/dia



Anexo 28: Eto (mm/día)



Determinación de la ETc por intervalo de riego

Como ejemplo el investigador presenta el cálculo correspondiente al primer riego que transcurre en la fecha del mayo al de setiembre del 2021 ya que en los demás intervalos se realizó el mismo procedimiento mediante hoja de cálculo.

Datos:

Riego (R) = 31.50 mm

Precipitación (P) = 0 mm

Agua Drenada (D) = 20.01 mm

Haciendo uso de la Ecuación 18 tenemos.

$$ETc=R+P-D$$

$$ETc=31.50+0-20.01$$

$$ETc=11.49 \text{ mm}$$

Determinación del volumen de agua drenada

Para determinar este volumen se midió y anotó la altura de agua en el recipiente multiplicándolo por su área transversal, en este caso el investigador realizó la

medición del agua drenada antes de realizar el segundo riego, el volumen de agua drenado se anota en la fecha anterior porque el volumen de agua drenado es correspondiente al primer riego, el procedimiento se repite para todas las mediciones desde el primer hasta el último riego:

Datos:

Diámetro del recipiente = 32 cm

Altura = 24.88 cm

Primero calculamos el área del recipiente:

$$Area = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$Area = \pi * \left(\frac{32}{2}\right)^2$$

$$Area = 804.25 \text{ cm}^2$$

Luego:

$$VOL. (DRENADO) = AREA * ALTURA$$

$$VOL. (DRENADO) = \frac{804.25 * 24.88}{1000}$$

$$VOL. (DRENADO) = 20.01 \text{ litros}$$

Anexo 29: Análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD

SOLICITANTE : Bach. Jhon Mario Rosas Tafur - Tesista

MUESTRA : M-01.

UBICACIÓN : Incapu - Shilla - Carhuaz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
38	61	29	10	Franco arenoso	6.93	4.846	0.243	09	273	0.339

Parámetros Físicos:

M N°	Da. g/cm ³ .	Dr. g/cm ³ .	C.C. %	P.M. %	Porosidad. %
38	1.46	2.58	23.00	9.00	43.41

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

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

Huaraz, 12 de abril del 2021.



[Signature]
Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y ABONO

Anexo 30: Panel fotográfico excavación







Anexo 31: Panel fotográfico de la instalación de lisímetro







Anexo 32: Panel fotográfico de la conducción del cultivo de papa









