

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola



**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN LISÍMETRO
DE DRENAJE LIBRE PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE
DE CULTIVO (K_c) PARA LA VARIEDAD DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) cv. ÚNICA EN CONDICIONES
EDAFOCLIMÁTICAS DEL DISTRITO
DE HUNTER, AREQUIPA. 2017**

Tesis presentada por la Bachiller:

Delgado Reynoso, Diana Solange

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Asesor: MSc. Ing. Torres Lizárraga, José M.

Arequipa – Perú

2018

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
URB. SAN JOSE S/N - UMACOLLO

DICTAMEN DE PROYECTO DE TESIS
(Jurado)

Señor
Mgter. FROY COLOMA DONGO
Director del P.P. de Ingeniería Agronómica
Presente.-

Mediante el presente, comunicamos a usted., que se ha procedido a revisar el BORRADOR de Tesis titulado:

“DETERMINACION DEL COEFICIENTE (Kc) PARA EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum L.) cv. UNICA MEDIANTE EL METODO DEL LISIMETRO DE DRENAJE LIBRE EN CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS DEL DISTRITO DE HUNTER, AREQUIPA 2017”

Presentado por el bachiller: **Diana Solange Delgado Reynoso**
Asesor: **Ing. José Torres Lizarraga**

El jurado Dictaminador presidido por **Ing. Jorge Zegarra Flores, Ing. Guillermo Linares Quiroz, Ing. Isacc Martinez Gonzales**

DICTAMINAN

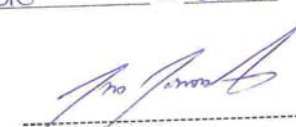
Procede a la Sustentación.

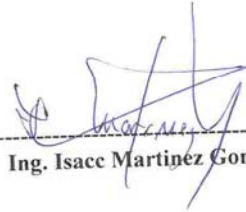
OBSERVACIONES

El título debe ser: Diseño, construcción e implementación de un lisímetro de drenaje libre para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (Solanum tuberosum L.) cv. Unica en condiciones edafoclimáticas del distrito de Hunter Arequipa 2017.

Arequipa, 29 de Octubre de 2018


Ing. Jorge Zegarra Flores


Ing. Guillermo Linares Quiroz


Ing. Isacc Martinez Gonzales

(5154) 382038

(5154) 252542

ucsm@ucsm.edu.pe

http://www.ucsm.edu.pe

0004795

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de la Candelaria, los que me acompañan y siempre me levantan de mi continuo tropiezo, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi hermana, por la confianza y por siempre creer en mí, me has impulsado a conseguir más de lo que jamás podría haber soñado, te lo debo a ti hermanita, mi compañera del alma.

Dedicado a un gran amigo y ejemplo, al más grande ingeniero que conocí y Dios me dio la dicha de conocerlo, Ing. Wilder Martín Chancafe Rodríguez.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. José Torres Lizárraga por su asesoría durante todo este proceso de investigación.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Católica de Santa María, a la Escuela Profesional de Ing. Agronómica y Agrícola, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a la Señorita Jessica Cordova Eguiluz por su paciencia, apoyo incondicional y amistad.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a mis jurados, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en que me encuentro.

Hermanita, siempre me has aconsejado buscando ponerte en mi lugar, nunca juzgándome ni buscando condenar mis acciones y, por eso, te agradezco de corazón. Si no hubiese contado con tu guía, no sé si hubiese llegado tan lejos. Te quiero con toda el alma y gracias por todo.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación constituye un aporte para el manejo racional y eficiente del agua, en el cultivo de la papa. El conocimiento de los valores del uso consuntivo del cultivo, tiene especial importancia porque permite establecer las necesidades de agua por cada etapa fenológica.

Minagri, (2017), indica que nuestro país es el principal productor de papa en América Latina, siendo necesario conocer el consumo de agua de este cultivo por etapa fenológica para tener un mejor uso del recurso frente a esta crisis del calentamiento global que se presenta. El manejo de agua de riego, tanto en cantidad como oportunidad debe estar relacionado a: factores climáticos, de cultivo, de suelo, y método de riego.

Según la FAO (2008), la producción de alimentos de los países en desarrollo se lleva a cabo en un 60 % en tierras que dependen de lluvia, teniendo solo un 40 % restante de regadío, constituyendo el agua un requisito indispensable para alcanzar y preservar el desarrollo sostenible. Se prevé que estos países aumentarán sus tierras de regadío pasando de los 248 millones de hectáreas actuales a 311 millones para el 2030, acentuando que el riego aumenta la producción entre un 100 y el 400 % (FAO, 2008).

Según Chaves et al. (2005) hay dos variables que son de extrema importancia para el éxito de la agricultura con irrigación: El buen dimensionamiento del sistema y el manejo del riego. Para esto es indispensable disponer de diferentes parámetros, entre los cuales se encuentran: La evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}) y el coeficiente de cultivo (K_c), que dependen de las condiciones climáticas, el suelo y la plantación.

El coeficiente de cultivo (K_c) se refiere a la razón obtenida entre la E_{Tc} y la E_{To} ; se relaciona con el cultivo, su desarrollo y las condiciones climáticas predominantes. (Chaves et al., 2005; De Souza et al., 2011). Medeiros et al. (2004) recomiendan que sea determinado preferencialmente para las condiciones locales a las cuales será utilizado. Dada la importancia de este parámetro en el adecuado manejo y planificación del riego, es indispensable que la investigación sea direccionada a determinar este valor en los cultivos potencialmente viables en proyectos de desarrollo nacional.

RESUMEN

Esta investigación se realizó en el fundo La Banda Huasacache en el distrito de Hunter perteneciente a la Universidad Católica de Santa María. El proyecto de investigación se inició en diciembre de 2016 hasta el 20 de abril de 2017. Durante el proceso de investigación se realizó la construcción de un lisímetro de drenaje libre para determinar el coeficiente de cultivo (Kc) bajo las condiciones del lugar.

El cultivo estudiado fue la papa (*Solanum tuberosum* L.) var. unica, el cual muestra sensibilidad al estrés hídrico debido a que posee un sistema radicular poco profundo y requiere disponibilidad constante de agua en el suelo para asegurar su máximo rendimiento y calidad del tubérculo. Considerando que la disponibilidad de agua de buena calidad a medida que pasa el tiempo es menor, porque la población crece descontroladamente, se tiene mayor contaminación del agua (minería, los ríos son receptores de aguas servidas) y una ineficiencia en el uso del agua para riego. En algunos lugares de nuestro país, las ofertas de agua no cubren las demandas lo que se debe mejorar la eficiencia en el uso del agua; es necesario conocer las necesidades netas del uso consuntivo (cantidad de agua consumida, para evaporación, transpiración y formación de tejidos vegetales) por el cultivo a lo largo de las campañas es así que mediante la presente investigación se pretende optimizar el manejo del agua para mejorar la productividad.

La evapotranspiración del cultivo fue calculada mediante el lisímetro de drenaje libre, el cual consistió en medir el volumen de entrada de riego y el volumen de salida de agua, cuya diferencia es la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración de referencia se obtuvo mediante datos climáticos registrados en la estación meteorológica SENAMHI, ubicada a 50 metros del proyecto y para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc) fue necesario primero determinar la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia con los cuales se obtiene un Kc promedio por etapa fenológica en el cultivo de papa bajo condiciones reales.

El coeficiente de cultivo (Kc) obtenido para cinco fases fenológicas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. unica, bajo condiciones edafoclimáticas del fundo La Banda Huasacache Hunter fueron: fase de brotación y emergencia (19 días) con un kc de 0.16, una fase de crecimiento vegetativo (23 días) con kc de 0.72, fase de floración e inicio de tuberización (23 días) con kc de 0.94, fase de desarrollo de tubérculo (45 días) con un kc de 1.38 y una fase de maduración y senescencia (19 días) con un kc de 1.12.

PALABRAS CLAVE: Papa, coeficiente de cultivo, lisímetro.

SUMMARY

The present work was done in La Banda Huasacache in the Hunter District belonging to the Católica de Santa Maria, the beginning of the project was in the month of December 2016 until April 20, 2017, during the process of The construction of a free drainage instrument was carried out to determine the growth coefficient (K_c) under the conditions of the place.

The crop under study was potato (*Solanum tuberosum L.*) var. unique, which is sensitive to water stress because it has a shallow root system and requires constant water availability in the soil to ensure maximum yield and quality in the tuber. The greater efficiency of the use of water (USA) in recent years is essential because the demand for it is greater than the supply of it, so that knowledge of the needs is needed. the crop throughout the campaign is so through the present investigation is to improve the management of this resource and ensure high production.

The actual evapotranspiration of the crop was calculated using the free drainage method, which consisted of the volume of inlet and the volume of water outlet, the difference of these in the actual evapotranspiration of the crop, while referential evapotranspiration is found through the climatic data provided by the SENAMHI weather station 50 meters from the project and for the determination of the growth coefficient (K_c) it is necessary to first determine the real evapotranspiration and the referential evapotranspiration with which average K_c can be obtained by phenological stage in the crop of potatoes under real conditions.

The K_c obtained for five phenological phases of the potato crop (*Solanum tuberosum L.*) var. unica, under edaphoclimatic conditions of the fund the Huasacache Hunter band were: sprouting and emergence phase (19 days) with a k_c of 0.16, a vegetative growth phase (23 days) with k_c of 0.72, flowering phase and tuberization initiation 23 days) with k_c of 0.94, phase of tuber development (45 days) with a k_c of 1.38 and a phase of maturation and senescence (19 days) with a k_c of 1.12.

KEY WORDS: Potato, cultivation coefficient, lysimeter.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

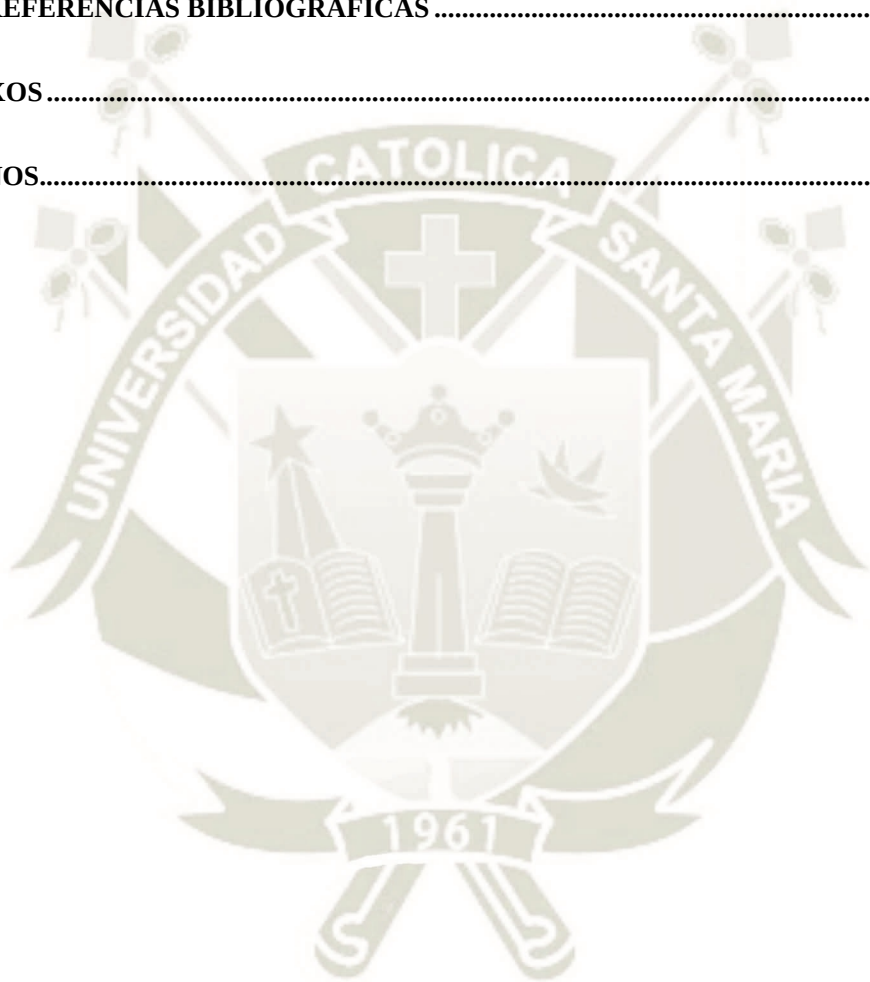
SUMMARY

1. CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos.....	1
CAPÍTULO II.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Importancia del Agua	2
2.1.1. Agua en el Suelo	2
2.2. Relación Agua-Suelo-Planta	4
2.2.1. Remoción del Agua del Suelo por las Plantas	4
2.2.2. El Uso Eficiente del Agua por las Plantas	4
2.3. Coeficiente de Cultivo (KC)	5
2.3.1. Factores Que Determinan El Coeficiente De Cultivo	6
2.3.2. Cálculo Del Coeficiente De Cultivo	8
2.3.3. Evapotranspiración (Et)	9
2.3.4. Evapotranspiración de referencia (ETo)	12
2.3.5. Evapotranspiración del cultivo (ETc)	13
2.3.6. Métodos Para Estimar La Evapotranspiración.....	15
2.4. Lisímetros.....	16
2.5. Cultivo de Papa	17
2.5.1. Origen e Importancia	17
2.5.2. Clasificación Taxonómica	18
2.5.3. Características del Cultivar “Única” en Estudio	18
2.5.4. Etapas Fenológicas.....	19
2.5.5. Requerimientos Agronómicos.....	22
2.6. Antecedentes Investigativos	24

CAPITULO III	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Localización	25
3.2. Fecha de Inicio y Término	26
3.3. Climatología	26
3.4. Materiales	26
3.4.1. Material Biológico	26
3.4.2. Materiales De Campo	26
3.4.3. Material Y Equipo De Escritorio	27
3.4.4. Materiales Y Equipo De Laboratorio	27
3.5. Metodología	27
3.5.1. Diseño, Fabricación E Instalación Del Lisímetro De Drenaje Libre	27
3.5.2. Instalación del Sistema de Riego	33
3.5.3. Estación Meteorológica – SENAMHI	35
3.5.4. Instalación del Cultivo	35
3.6. Evaluaciones.....	38
3.6.1. Toma de Datos	38
3.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc)	38
3.6.3. Evapotranspiración de Referencia (ETo)	38
3.6.4. Coeficiente De Cultivo (Kc) en Las Etapas Fenológicas.....	38
3.6.5. Evaluaciones Durante el Desarrollo del Cultivo.....	39
CAPITULO IV	43
4. RESULTADOS.....	43
4.1. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) cv. única mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo condiciones edafoclimáticas del Distrito de Hunter –Arequipa	43
4.2. Diseño, Construcción e Implementación de un Lisímetro de Drenaje Libre.	43
4.2.1. Suelo Puesto a Capacidad de Campo (Cc).....	44
4.3. Obtención de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc) para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) cv. única	46
4.3.1. Evapotranspiración de Cultivo en fase de Brotación y Emergencia	46
4.3.2. Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Crecimiento Vegetativo	47
4.3.3. Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en fase de Floración e Inicio de Tuberización	48
4.3.4. Evapotranspiración del cultivo de Cultivo (ETc) en Fase de Desarrollo de Tubérculos	49

4.3.5.	Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Maduración y Senescencia.....	50
4.4.	Obtención de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) Utilizando el Método del Tanque Evaporímetro Tipo Clase “A”	51
4.4.1.	Evapotranspiración de Referencia (ETo) en Fase de Brotación y Emergencia ...	51
4.4.2.	Evapotranspiración de referencia en Fase de Crecimiento Vegetativo.....	52
4.4.3.	Evapotranspiración de referencia en Fase de Floración e Inicio de Tuberización	53
4.4.4.	Evapotranspiración de Referencia en Fase de Desarrollo de Tubérculos	54
4.4.5.	Evapotranspiración de Referencia (ETo) en Fase de Maduración y Senescencia	55
4.5.	Determinación de los valores del coeficiente del Cultivo (Kc) por etapas fenológicas empleando la evapotranspiración de cultivo (ETc) y Evapotranspiración de Referencia (ETo). Para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv- Unica	56
4.5.1.	Coeficientes de Cultivo (Kc) Obtenidos para Cada una de las Cinco Etapas Fenológicas	58
4.5.2.	Evaluaciones Fitotecnias de la Planta	61
4.6.	Obtención de la curva de coeficiente de cultivo (Kc), por etapas fenológicas de la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv única.....	64
CAPITULO V		65
5.	DISCUSIÓN.....	65
5.1.	Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv. única mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo condiciones edafoclimáticas del Distrito de Hunter –Arequipa.	65
5.2.	Diseño, Construcción e Implementación de un Lisímetro de Drenaje Libre.	65
5.2.1.	Suelo en Capacidad de Campo (Cc)	66
5.3.	Obtención de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc) para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv. única	67
5.4.	Obtención de la evapotranspiración de referencia (ETo) utilizando el método del tanque evaporímetro tipo clase “A”	68
5.5.	Determinación de los valores del coeficiente del Cultivo (Kc) por etapas fenológicas empleando la evapotranspiración de cultivo (ETc) y evapotranspiración de referencia (ETo). Para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv- Unica.	70
5.5.1.	Identificación de Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa Var. Única.....	71
5.5.2.	Coeficiente de Cultivo (Kc) por Etapa Fenológica	75
5.6.	Obtención de la Curva de Coeficiente de Cultivo (Kc), por Etapas Fenológicas de la Variedad de Papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) cv Unica.....	76

CAPITULO VI	77
6. CONCLUSIONES.....	77
 CAPITULO VII.....	 79
7. RECOMENDACIONES.....	79
 CAPITULO VIII	 80
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
 ANEXOS.....	 87
 PLANOS.....	 93



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Factores que Inciden en la Evapotranspiración	12
CUADRO 2 Clasificación Taxonómica del Cultivo de Papa.....	18
CUADRO 3 Coordenadas del Lugar de Ejecución	25
CUADRO 4 Coeficiente de Cultivo (Kc) para la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) cv. única en sus diferentes Etapas Fenológicas.....	43
CUADRO 5 Datos del Porcentaje de Capacidad de Campo (% CC) a las 24, 48, 72 y 96 horas del suelo del lisímetro de la investigación	44
CUADRO 6 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Brotación y Emergencia.....	46
CUADRO 7 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Crecimiento Vegetativo	47
CUADRO 8 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Floración e Inicio de Tuberización	48
CUADRO 9 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Desarrollo de Tubérculos	49
CUADRO 10 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Maduración y Senescencia.....	50
CUADRO 11 Evapotranspiración de Referencia (ETo) en Fase de Brotación y Emergencia.....	51
CUADRO 12 Evapotranspiración de referencial en Fase de Crecimiento Vegetativo	52
CUADRO 13 Evapotranspiración de referencia en Fase de Floración e Inicio de Tuberización. ...	53
CUADRO 14 Evapotranspiración de Referencia (ETo) en Fase de Desarrollo de Tubérculos	54
CUADRO 15 Evapotranspiración de Referencia (ETo) en Fase de Maduración y Senescencia.....	55
CUADRO 16 Coeficientes de cultivo (Kc) semanales	57
CUADRO 17 Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Etapa de Brotación y Emergencia / Crecimiento Vegetativo	58
CUADRO 18 Coeficientes de Cultivo (KC) para la etapa de Floración e Inicio de Tuberización ..	59
CUADRO 19 Coeficientes de Cultivo (kc) para la Etapa de Desarrollo de Tubérculos.....	60
CUADRO 20 Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Etapa de Maduración y Senescencia.....	61
CUADRO 21 Evaluación Fitotecnia con una Frecuencia de tres días, e Identificación de Etapas Fenológicas del Cultivo papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Cv. única en condiciones Edafoclimaticas del Distrito de Hunter – Arequipa 2017	62
CUADRO 22 Relación Tipo de Suelo (Textura) vs. Retención de Agua (Clases)	66
CUADRO 23 Promedio Etc por Etapa Fenológica.	67
CUADRO 24 Promedio ETo por Etapa Fenológica	69
CUADRO 25 Cuadros Comparativos de Diferentes Autores por Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRAFICA 1 Curva del Coeficiente de Cultivo K_c	5
GRAFICA 2 Curva de Consumo de Agua (K_c) en 4 Etapas de Desarrollo Para los Cultivos.....	8
GRAFICA 3 Evapotranspiración de Referencia (E_{To}) mm/diaria expresada semanalmente durante el desarrollo del cultivo en la investigación	56
GRAFICA 4 Curva del Coeficiente De Cultivo (K_c) en las Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa (<i>Solanum Tuberosum L.</i>) Cv. Unica.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Proceso de Evapotranspiración.....	9
FIGURA 2 Circulación del Agua a Través de la Planta por Transpiración	11
FIGURA 3 Factores que Afectan la Evapotranspiración	11
FIGURA 4 Evapotranspiración de referencia (E_{To}).....	13
FIGURA 5 Evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}).....	14
FIGURA 6 Real Lisímetro de Drenaje para Determinar la Evapotranspiración.....	17
FIGURA 7 Papa - Fases Fenológicas del Cultivo	20

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de Fertilidad y Caracterización de Suelo en Estudio.....	88
ANEXO 2 Coeficiente de Cultivo Kc.....	89
ANEXO 3 Coeficiente Kt, en el caso de un Tanque de Evaporación Clase “A”, para diferentes Cubiertas y Niveles de Humedad.	91
ANEXO 4 Duración aproximada de las Fases del Periodo Vegetativo de Algunos Cultivos. (C. <i>brouwer</i> y <i>M. heibloem</i>)	92

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Plano de Planta
PLANO 2 Plano de Lisímetro de Drenaje Libre - Secciones
PLANO 3 Plano de Lisímetro de Drenaje Libre Isométrico - Secciones
PLANO 4 Plano de Ubicación General (UG 01)

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTO 1 Ubicación - Fundo la Banda Huasacache.....	25
FOTO 2 Fabricación de la Caja del Lisímetro	28
FOTO 3 Caja del Lisímetro con Estructura Metálica en Forma de Jaula.....	29
FOTO 4 Obras Civiles	30
FOTO 5 Construcción de Caseta de Tomas de Datos	30
FOTO 6 Instalación de la Caja del Lisímetro.....	32
FOTO 7 Instalación de la Caja del Lisímetro.....	32
FOTO 8 Instalación del Tanque de Alimentación.....	33
FOTO 9 Red de Distribución.....	34
FOTO 10 Suelo Puesto a Capacidad de Campo	36
FOTO 11 Siembra	37
FOTO 12 Depósito para Riego.....	37
FOTO 13 Brotación y Emergencia.....	39
FOTO 14 Altura de Planta.....	40
FOTO 15 Floración	40
FOTO 16 Número de Tubérculos por Planta	41
FOTO 17 Pesado de Tubérculos.....	41
FOTO 18 Tubérculos por Planta	42

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinación del coeficiente de cultivo (K_c) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. Única mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo las condiciones edafoclimáticas del Distrito de Hunter - Arequipa

1.1.2 Objetivos Específicos

- + Diseño, construcción e implementación de un lisímetro de drenaje libre en el fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María, situado en el distrito de Hunter, provincia y región Arequipa.
- + Obtener la Evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. única aplicando el método de lisímetro de drenaje libre.
- + Obtener la evapotranspiración de referencia (E_{To}) utilizando el método del tanque evaporímetro tipo clase “A”.
- + Determinar valores del coeficiente de cultivo (K_c), por etapas fenológicas empleando la Evapotranspiración de Cultivo (E_{Tc}) y Evapotranspiración de referencia (E_{To}). Para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. Única.
- + Obtener y Graficar la curva de coeficiente de cultivo (K_c), por etapas fenológicas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. única aplicando el método de lisímetro de drenaje libre.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del Agua

Es fundamental la eficiencia de aplicación del agua debido a que es un recurso escaso que generalmente no alcanza para regar toda la superficie que desea el agricultor o para no generar problemas en los sectores o predios que se encuentran en posiciones más bajas. La cantidad aprovechable del agua por el cultivo será variable y dependerá de los factores meteorológicos, del suelo y así como de la disponibilidad de agua de regadío. (INIA, 2014).

Ekanayake (1994), enfatiza que la vulnerabilidad de la papa ante el déficit hídrico ocurre durante su ciclo de crecimiento, dando como consecuencia bajo rendimiento y mala calidad del tubérculo, poniendo en manifiesto el importante papel que cumple este elemento.

Hargreaves y Merkle (2000), precisan que el requerimiento hídrico de un cultivo está determinado por el potencial de evaporación climático, de las características de las plantas y de los factores que influyen en el crecimiento de la planta.

El cultivo de papa en pleno desarrollo, puede transpirar de 2 – 10 mm por día. Precipitaciones inferiores a 10 milímetros no son efectivas para el cultivo ya que estas quedan retenidas en las hojas del cultivo y se evaporan (Simpfendofer, 2000).

2.1.1. Agua en el Suelo

El suelo es un “reservorio” que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas. Esta capacidad se encuentra limitada por el agua retenida entre los niveles de humedad denominados capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) (Hurtado, 2002).

A. Capacidad de Campo (CC)

Delmhorst (1999), define a la capacidad de campo como la máxima cantidad de agua disponible para las plantas o en su defecto como la

cantidad de agua retenida por el suelo contra los efectos del drenaje por gravedad.

Donoso (1981) declara que, es la cantidad de agua que puede retener un suelo después que el agua gravitacional ha sido drenada, de tal modo que el contenido de agua es más o menos estable. Este valor es usado como el más cercano a la humedad óptima del suelo que requieren las plantas. También se puede definir como el contenido de humedad de un suelo cuando las fuerzas que mantienen a la humedad en él son iguales a la fuerza de gravedad. Estas condiciones se dan entre 1 y 5 días después que el suelo ha sido mojado profusamente por la lluvia o por el riego. Es decir, cuando el agua ha desocupado los macroporos, que son, en cambio, ocupados por aire, pero los microporos o capilares permanecen llenos de agua, por esta razón la “Capacidad de Campo” también es conocida como “Capacidad Capilar”. A su vez añade que, los factores que influyen en la capacidad de campo son: la textura del suelo, la estructura del mismo, el contenido de materia orgánica y la profundidad del suelo respecto a la napa freática, siendo “baja” la capacidad de campo en suelos de textura gruesa y con mala agregación de materia orgánica. Finalmente, la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica de los suelos pueden variar con la profundidad, de modo que puede ser conveniente medir la C.C. en cada horizonte.

La FAO (s.f.) explica que, la capacidad de campo es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. Agrega que, el concepto de capacidad de campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una capacidad de campo claramente definida.

B. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Vásquez e Iglesias (2000), indican que Es el punto en el cuál la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo retardado de agua del suelo hacia la planta.

Vásquez e Iglesias (2000), explican que el PMP es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas no logran extraer agua para compensar sus necesidades de transpiración, manifestándose síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo (Hidalgo, 2008). Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bares (Enciso, 2005).

2.2. Relación Agua-Suelo-Planta

La cantidad variable de agua contenida en una unidad de masa o de volumen del suelo y el estado de energía del agua en el mismo son factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, de ahí lo necesario de su conocimiento. Sin una descripción adecuada de la relación suelo-agua, no es posible después estimar correctamente el comportamiento del cultivo, (Mahdian y Gallichand, 1996)

2.2.1. Remoción del Agua del Suelo por las Plantas

La remoción del agua por las plantas desde diferentes profundidades del suelo no es uniforme, cuando la zona radicular se encuentra con contenido de capacidad de campo las raíces absorben más agua de la parte más superior del suelo, esto es debido a que aquí el oxígeno es más abundante, es mayor la densidad y actividad de las raíces y donde el agua debe transferirse de las raíces a los tallos en un tramo bastante corto. Tanto como la humedad de la superficie del suelo decrece, la remoción del agua se hace progresivamente de las mayores profundidades hasta que se produzca un nuevo suministro de agua (Zavaleta, 1992).

2.2.2. El Uso Eficiente del Agua por las Plantas

La eficiencia del agua usada por las plantas depende de la relación entre el crecimiento de las plantas, expresado por el rendimiento total y la cantidad de agua consumida para lograr tal rendimiento. El uso más eficiente el agua

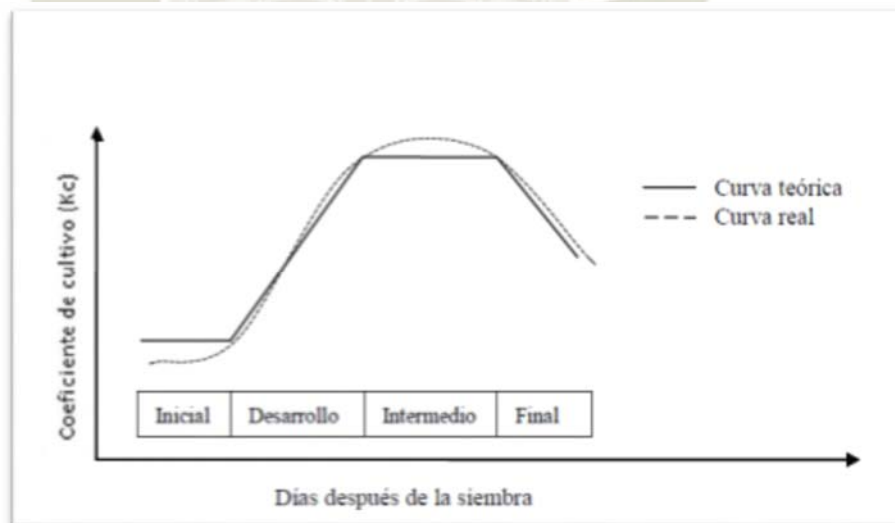
debe ser la meta en cualquier sistema agrícola. La eficiencia del uso de agua se expresa mediante la relación transpiración –materia seca y el uso consuntivo del agua. (Zavaleta, 1992)

2.3. Coeficiente de Cultivo (Kc)

Es un coeficiente que tiene en cuenta las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo (Allen et al, 2006) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

El Kc está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de Kc, ver Grafica 1. La curva describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada. La fase inicial va desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo. La fase de desarrollo, empieza cuando termina la etapa anterior y va hasta el crecimiento activo de la planta. La fase intermedia, va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70 -80% de cobertura máxima de cada cultivo. La fase final, va desde la madurez hasta la cosecha (Allen et al, 2006).

GRAFICA 1 Curva del Coeficiente de Cultivo Kc



Fuente: Allen et al, 2006

Es un valor que varía en el tiempo, creciendo con la planta hasta llegar a un máximo y luego disminuye, es decir depende de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo. Dependen también de las

características del suelo y su humedad, así como de las prácticas agrícolas y del riego.

Los efectos combinados, tanto de la transpiración del cultivo, como de la evaporación del suelo se integran en este coeficiente único del cultivo. Así el coeficiente K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en periodos mayores a un día (Beltri, 2008).

2.3.1. Factores Que Determinan El Coeficiente De Cultivo

Según FAO (2008) el coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c .

SERRUTO (1987). Dice: “El Coeficiente de cultivo se determina de acuerdo a las características del cultivo, el momento de siembra, el ritmo de crecimiento del cultivo y del periodo vegetativo. Significa la preparación de una curva de coeficientes para cada cultivo”. EL K_c es un factor que indica el grado de desarrollo de un cultivo y está desarrollado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar en la evapotranspiración de determinada zona.

SERRUTO (1987). Resume los factores que determinan el coeficiente de cultivo (K_c) en 4 aspectos ampliamente importantes:

A. Tipo de Cultivo.

Debido a las diferencias como altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de las estomas y hojas de las plantas, se presentaran diferencias entre la evapotranspiración de un

cultivo bien desarrollado y regado y la Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

B. Clima.

Las variaciones en la velocidad del viento afectan el valor de la resistencia aerodinámica de los cultivos y por lo tanto los valores del coeficiente del cultivo, especialmente en aquellos cultivos que posean una altura significativamente mayor a la del cultivo hipotético del pasto.

C. Evaporación del Suelo.

El valor del coeficiente (K_c) para cultivos que cubren completamente el suelo refleja principalmente las diferencias en transpiración, debido a que la evaporación que ocurre en el suelo es relativamente pequeña.

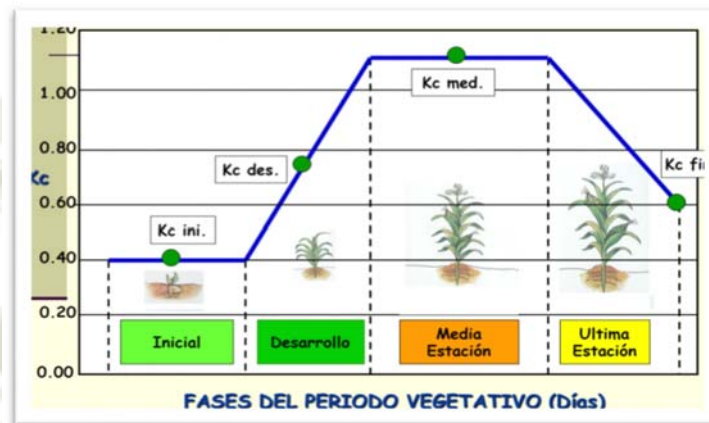
D. Etapas del Crecimiento del Cultivo.

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de (K_c) correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del periodo de crecimiento del mismo. La duración de las etapas dependerá fundamentalmente de la variedad y las condiciones en que se desarrolla el cultivo, especialmente el tipo de clima y riego. Según la FAO (1977) para la determinación del K_c el periodo de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas:

- ✚ **Fase Inicial:** desde la siembra hasta un 10% de cobertura del suelo.
- ✚ **Fase de Desarrollo:** desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- ✚ **Fase Media:** entre floración y fructificación (corresponde normalmente entre el 70-80% de la cobertura máxima de cada cultivo)
- ✚ **Fase de Maduración:** desde madurez hasta recolección”

En el grafico siguiente se puede observar en forma esquematizada la variación típica de los valores de Kc en función a las fases del periodo vegetativo del cultivo.

GRAFICA 2 Curva de Consumo de Agua (Kc) en 4 Etapas de



Desarrollo Para los Cultivos

Fuente: FAO (1976).

El Kc presenta valores pequeños al inicio del desarrollo del cultivo y aumenta a medida que se incrementa la cobertura del suelo. El valor máximo se estima durante la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la maduración a cosecha. (FAO, 1976).

2.3.2. Cálculo Del Coeficiente De Cultivo

El coeficiente de cultivo (Kc) es un número adimensional que se obtiene dividiendo ETc por ETo y que se puede utilizar para estimar el consumo diario en los campos de producción con el mismo cultivar y prácticas culturales y creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (YISHAI, 2010)

Goyal y Gonzáles (1990) sostiene que utilizando el coeficiente de cultivo (Kc) y la (ETo) calculada es posible estimar el uso consuntivo (ETc) mediante la siguiente relación:

$$ETc = Kc * ETo$$

Despejando K_c :

$$K_c = E_{Tc} / E_{To}$$

Dónde:

E_{Tc} : Evapotranspiración de cultivo, en mm/día

K_c : Coeficiente de cultivo

2.3.3. Evapotranspiración (E_t)

La evapotranspiración (E_t) es la pérdida de agua que ocurre en una superficie como consecuencia de la combinación de los procesos de evaporación de una superficie evaporante y la transpiración de la planta, tal como se muestra en la Figura 1, (Allen et al, 2006). La E_t es un componente del balance de agua, y un parámetro importante en la definición de las necesidades hídricas de los cultivos y por consiguiente en la programación de riego, (Droogers, 2000).

FIGURA 1 Proceso de Evapotranspiración



Fuente: Allen et al, 2006

La cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y la evaporación directa de la superficie del suelo, mas aquella cantidad de agua que se reintegra a la atmósfera debido a la evaporación del agua (lluvia o riego) que intercepta la superficie foliar de la planta (PÉREZ, 2005; GUROVICH, 1985 y ISRAELSEN, 1985).

A. Evaporación.

Sánchez, (1992), lo define como fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor. Se produce evaporación desde:

- + La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- + Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).
- + Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

Monsalve, (1999), manifiesta que la evaporación como un proceso por la cual el agua líquida pasa al estado de vapor en condiciones naturales. Que simultáneamente con el escape de partículas de agua hacia la atmósfera se dé en fenómeno inverso partículas de agua en la fase gaseosa que existen en la atmósfera chocan con la superficie de separación entre estado líquido y gaseoso y son capturados por el cuerpo de agua evaporante.

B. Transpiración.

Sánchez, (1992), lo define como un fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera en forma de vapor. Toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran como resultado de las acciones físicas y fisiológicas de las plantas a través de los estomas (Monsalve, 1999).

Las plantas por la raíz toma la sustancias orgánicas elaboradas y transformándose en savia elaborada, el agua sobrante de la savia bruta sale al exterior en forma de vapor de agua, este proceso climatológico de agua sobrante en forma de vapor recibe el nombre de transpiración y se produce a través de unos orificios, llamados estomas situados en las hojas (FUENTES, 1997).

FIGURA 2 Circulación del Agua a Través de la Planta por Transpiración



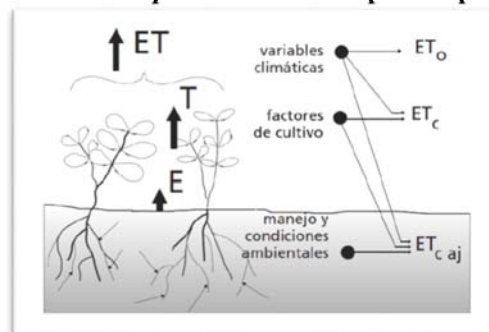
Fuente: Allen et al, 2006

Es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas una parte es utilizada en la formación de los tejidos y otra, emitida por las hojas para ser reintegrada a la atmósfera (SERRUTO 1987, citado por DIAZ 2011)

C. Factores que Intervienen en la Evapotranspiración.

Allen et al, (2006), menciona; el clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan a la evaporación y la transpiración. La evaporación depende del poder evaporante de la atmósfera. Los conceptos relacionados a la ET y presentados en la Figura 3 se describen en la sección sobre conceptos de evapotranspiración.

FIGURA 3 Factores que Afectan la Evapotranspiración



Fuente: Allen et al, 2006

CUADRO 1. Factores que Inciden en la Evapotranspiración

Parámetros que inciden en la evapotranspiración	La evaporación depende de:		Transpiración
	La lámina de agua libre	El suelo desnudo	
Poder evaporante	X	X	X
Salinidad del agua (inversamente)	X		
Temperatura del agua	X		
Tipo de suelo (textura, estructura)		X	
Grado de humedad del suelo		x	X
Tipo de planta			X
Variaciones estacionales: cultivo, desarrollo de las plantas, zonas de bosque de hoja caduca, caída de la hoja pralaiza la transpiración			x
Variaciones interanuales: en áreas de bosque la ET aumenta con el desarrollo de los arboles			x

Fuente: Allen et al, 2006

2.3.4. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o) es “la tasa de evaporación en mm/día de una extensa superficie de pasto (grama) verde de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua”. Por lo tanto (ET_o) es también un elemento climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. (ET_o) expresa el poder evaporante de la atmósfera de una localidad y época del año específicos, y no considera ni las características del cultivo ni los factores del suelo (DOORENBOS, 1977).

Se define como “la cantidad de agua transportada en un tiempo dado de un cultivo verde corto, de altura uniforme y adecuado estado de agua en el perfil del suelo”, (Irmak y Haman, 2003). Debido a la ambigüedad de la definición del cultivo, en especial, en climas cálidos y a la cantidad de cultivos agrícolas y hortícolas que cumplían la condición de cultivo verde y corto se desarrolló el concepto de ET_o, (Jensen et al, 1990; Irmak y Haman, 2003).

Para Allen et al, (2006). La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. Estos datos son necesarios con antelación al planeamiento de proyectos o para programar calendarios de riego.

Hidalgo (2008), aclara que es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia.

La ETo es una cantidad que depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, Etc.

La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Su fórmula es:

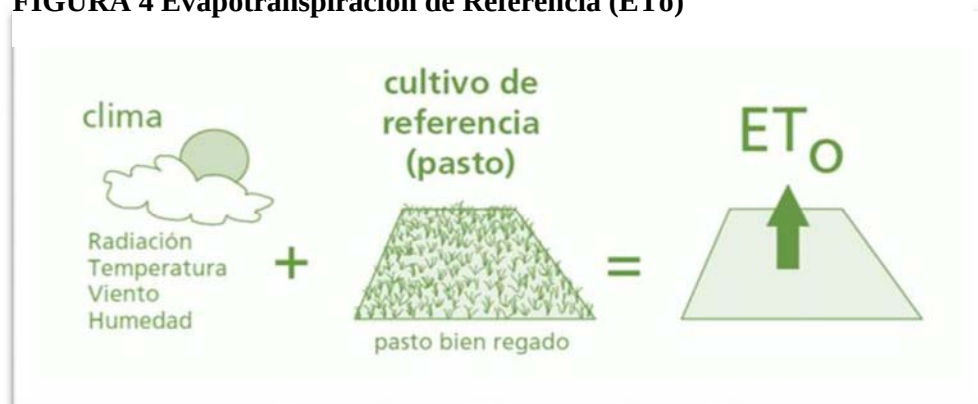
$$ETo = Ev * Kp$$

Dónde:

Ev = Información del tanque de evaporación tipo A

Kp= coeficiente del tanque evaporímetro

FIGURA 4 Evapotranspiración de Referencia (ETo)



Fuente: FAO 2006

2.3.5. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

BENITES Y PÉREZ (2005), Llamada también uso consuntivo, está referida a la cantidad de vapor transferida a la atmósfera, que depende no sólo de las

condiciones meteorológicas existentes, sino del ciclo vegetativo del cultivo (capacidad para extraer humedad) y de las disponibilidades de agua reales por efecto de la periodicidad con que se aplica el agua. En otras palabras el consumo en condiciones reales de explotación.

Hurtado (2002), indica que la evapotranspiración o necesidad (consumo) de agua por los cultivos se refiere al agua usada por las plantas en la transpiración más la evaporada directamente desde la superficie del suelo.

Normalmente se mide en mm/día o mm/mes, y depende de la interacción entre factores climáticos, botánicos, edáficos y de manejo del cultivo. La evapotranspiración es baja en los primeros estadios de la etapa de crecimiento de la planta; se incrementa a medida que la planta crece en altura, y en área foliar, hasta alcanzar un máximo en la etapa de fructificación y luego disminuye progresivamente hasta la etapa de cosecha.

Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo (ET_c) varía fundamentalmente según el cultivo (estado fenológico) y el clima (FAO, 2008).

La evapotranspiración del cultivo se calcula como:

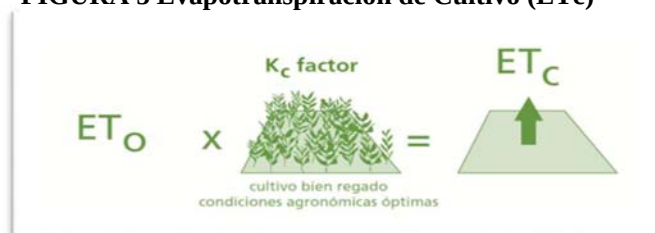
$$ET_c = ET_o * K_c$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

K_c = coeficiente del cultivo

FIGURA 5 Evapotranspiración de Cultivo (ET_c)



Fuente: FAO 2006

2.3.6. Métodos Para Estimar La Evapotranspiración

Desde finales de la década de los años 40" del siglo pasado se han desarrollado numerosos métodos que permiten estimar la evapotranspiración en cultivos. Estos van desde métodos sencillos que determinan la Et de manera directa con la utilización de lisímetros o balances de aguas en el suelo, a métodos indirectos o micro meteorológicos que consisten principalmente en ecuaciones empíricas con base en variables climáticas. (Anton et al 1995; Stefano y Ferro, 1997).

BENITES Y PÉREZ (2005), Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración y se consideran dos categorías, Las más comúnmente aplicados son los siguientes:

- **Métodos Directos:**
 - **Método de los Lisímetros**
 - De drenaje
 - De pesada
 - De compensación
- **Métodos Indirectos:** Como los que tienen en cuenta los balances de energía o utilizan la información proporcionada por estaciones meteorológicas, estos son:
 - Método de Blanney- Criddle.
 - Método de Penman-M.
 - CROPWAT (Programa ordenador para planificar y manejar riego. Basado en PenmanMonteith).

Muchas investigaciones de evapotranspiración a campo abierto se han realizado con el fin de comparar distintos métodos de evapotranspiración con la Et medida con lisímetros, tal como los estudios realizados por: Sepaskhah y Ilampour, 1995; Chang et al, 1997; Trambouze et al, 1998; Bonachela et al, 1999; Boulard y Wang, 2000; García et al, 2003; 22 Karam et al, 2003; Villalobos et al, 2003; Yunusa et al, 2004; Benli et al 2005; Adekalu y Fapohunda, 2006; Alexandris et al, 2006; Fuchs et al, 2006; Loos et al, 2007; Lopez-Urrea, 2006; Karam et al, 2007; Schilling y Kiniry, 2007; Stangellini

(1993); Villa-Nova et al, 2007; Casanova et al, 2009; y Wen-jin et al, 2010; entre otros.

2.4. Lisímetros

Los lisímetros o evapotranspirómetros 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. Éste 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) (García y Briones, 1997).

Luque, J. (1981). Señala que los Lisímetros consisten esencialmente en unos tanques calibrados algunos de gran capacidad, dentro de las cuales se introduce la muestra de suelo, sobre la cual se desarrolla la cubierta vegetal tipo, como ya se consideró, son instrumentos propios de las estaciones y centros de investigación y experimentación hídrica, edafológica y agrícola. El objetivo de estos aparatos es efectuar el balance de “entradas y salidas de humedad” para luego determinar la fracción correspondiente a la evapotranspiración.

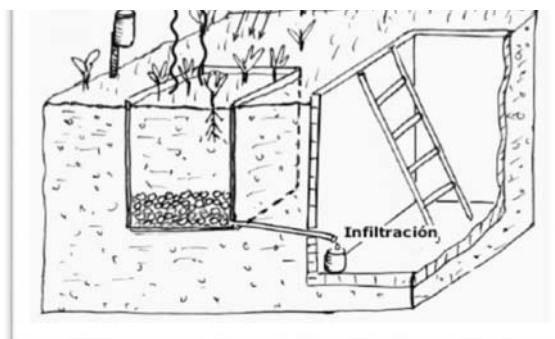
Los lisímetros son generalmente la herramienta que ayuda a evaluar la confiabilidad de los procedimientos empíricos, dichos lisímetros son recipientes grandes, llenos de suelo, ubicados en el campo para representar sus características naturales, en las cuales las condiciones agua-suelo-planta pueden ser reguladas y controladas (Gaboukhaled, 1986).

Pacheco y Alonzo, (1995). Indican que los tanques o Lisímetros son equipos que se usan para la determinación de la evaporación de un suelo desnudo o la evapotranspiración de un determinado cultivo, que este diseño de impermeabilidad se debe colocar los horizontes de suelo en la misma disposición natural, esto permite un adecuado crecimiento radicular, estos se clasifican en:

- A. Lisímetros de drenaje.-** en ellos se miden diariamente el agua agregada y la drenada y por diferencia, la evapotranspiración.
- B. Lisímetros de pesada.-** diariamente se pesa el conjunto de suelos, plantas y agua junto con el tanque, y por diferencia de pesada con el día anterior.

C. Lisímetros de compensación.- automáticamente por un sistema de vasos comunicantes se compensa el agua que gasta en el tanque, manteniéndose constante una lámina de agua que a determinada profundidad, según el suelo y cultivo abastece por capilaridad a las plantas.

FIGURA 6 Lisímetro de Drenaje para Determinar la Evapotranspiración de Cultivo



Fuente: Allen et al, 2006

2.5. Cultivo de Papa

Según MINAG (2014), la papa es el principal cultivo del país en superficie sembrada y representa el 25 % del PBI agropecuario. Además, es la base de la alimentación de la zona andina y es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias. La siembra promedio es de 274,411 hectáreas en 19 regiones del Perú. Puede desarrollarse desde el nivel del mar hasta los 4,200 m.s.n.m.; pero mayormente prospera en climas semitemplados. Alcanza su máximo crecimiento y desarrollo entre 15 a 18 °C. La formación de estolones y tubérculos es más exigente y requiere de 8 a 12 °C.

El rendimiento promedio nacional es de 13.3 t ha⁻¹. En la costa el promedio alcanza a 25 t ha⁻¹. Esto también depende de la variedad de papa, niveles de fertilización y condiciones de riego. El cultivo de papa de la siembra a la cosecha genera aproximadamente 30.2 millones de jornales y el aporte al Producto Bruto Interno del Perú es 13%.

2.5.1. Origen e Importancia

La papa es una especie de procedencia andina, su origen parece situarse en dos centros distintos de América del Sur: Perú – Bolivia, para *Solanum andigena*; y el sur de Chile, para *Solanum tuberosum* L.

La papa es el tercer cultivo más importante después del trigo y el arroz a nivel mundial. Sin embargo, poco se conoce de la importancia que tiene este tubérculo para la salud y la alimentación humana. La papa es un producto que contiene en 100 gramos; 78 g. de humedad; 18,5 g. de almidón y es rico en Potasio (560 mg) y vitamina C (20 mg). El consumo de papas (100 g) al día, puede cubrir el requerimiento de hasta el 50% de las necesidades de vitamina C para el ser humano (INIAP, 2014).

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y 2,301 de las más de 4,000 variedades que existen en Latinoamérica. Además, nuestro país posee 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi todo nuestro continente (y que generalmente no son comestibles) (MINAG, 2014).

2.5.2. Clasificación Taxonómica

En el Perú la papa cultivada presenta una gran diversidad de especies. Se entiende por papa cultivada, a todas las plantas cuyos tubérculos se utilizan para fines alimenticios y económicos. La papa cultivada o papa común, se conoce con el nombre de linneano de *Solanum tuberosum* L. (Egúsqiza, 2000; citado por Alvarez, 2010)

CUADRO 2 Clasificación Taxonómica del Cultivo de Papa

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	Solanum
Especie	<i>S. tuberosum</i>

Fuente: Egúsqiza, 2000

2.5.3. Características del Cultivar “Única” en Estudio

La planta del cultivar 'UNICA' es herbácea con hábito de crecimiento erecto, tallos gruesos de color verde oscuro, alcanzando una longitud entre 0,90 a 1,20 metros. Las hojas son compuestas y se distribuyen en espiral sobre el

tallo. La forma de la hoja es disectada, con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los peciolulos. Tiene una floración moderada en primavera en Costa, escasa floración en el invierno en Costa y ausencia de floración en condiciones de Sierra (mayor a 2 000 m.s.n.m.); las flores son violetas y no forman bayas en épocas de bajas temperaturas. Los estolones son alargados en el invierno o bajo condiciones de Sierra; ligeramente cortos y pegados al tallo en primavera. Los tubérculos son oblongos y alargados, con ojos superficiales y en la parte del ojo apical es semi-profundo. Se forman ligeras protuberancias en los ojos hacia finales de primavera, volviéndose más lisos en el invierno o bajo condiciones de Sierra, éstas también se presentan en elevados niveles de nitrógeno, periodos de estrés hídrico prolongados o cuando se retrasa el periodo de cosecha (Gutierrez-Rosales et al., 2007; citado por Alvarez, 2010).

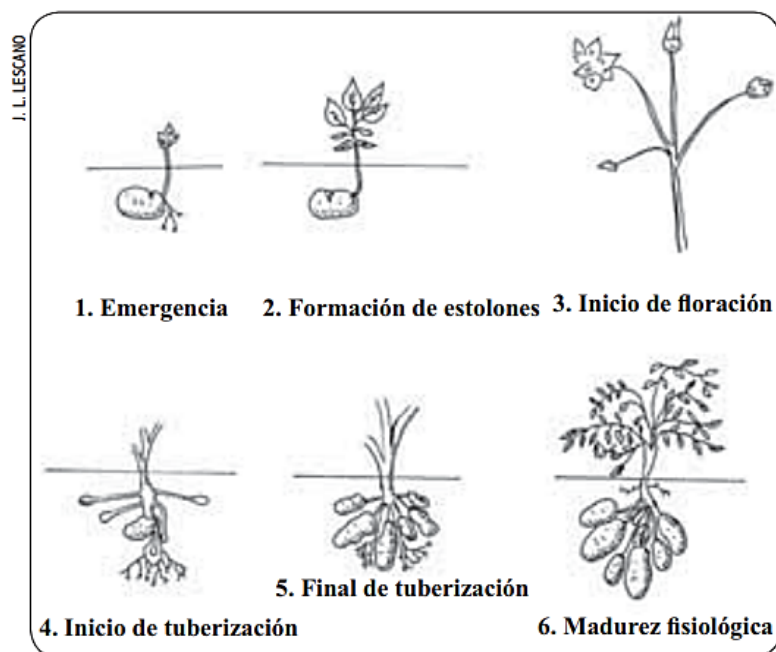
2.5.4. Etapas Fenológicas

FAO (1977). Se ha determinado 4 fases a considerar en la determinación del Kc, fase inicial, fase de desarrollo, fase de media estación, fase de última estación.

Para la descripción de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de papa se propone la escala sugerida por LESCANO (1994), en la que se definen los 4 estados principales:

- o Fase Inicial (Plantación - Emergencia)**
- o Fase de desarrollo (Emergencia - Tuberización)**
- o Fase de Media Estación (Tuberización - Floración)**
- o Fase de última Estación (Floración - Maduración)**

FIGURA 7 Papa - Fases Fenológicas del Cultivo



Fuente: J. L. Lescano

Esta clasificación es clave para poner un punto en común en la identificación de la fenología de papa, con el propósito de usarlo en todo lo referente al manejo del cultivo.

A. Fase Inicial (Plantación - Emergencia)

Referida a la aparición de las primeras hojas sobre la superficie del suelo. Abarca el período que transcurre entre la plantación o siembra y el 80% de los talluelos o brotes emergidos del suelo. Se forma alguna apreciable cantidad de raíces y raicillas, así como tallos cortos desde el tubérculo-semilla y que salen de la superficie del suelo (Medina, 1995).

Durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo. Por lo tanto, el valor de K_c durante el período inicial (K_c ini) es alto cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego o lluvia, y es bajo cuando la superficie del suelo se encuentra seca. El tiempo que tardará el suelo en secarse dependerá del intervalo de tiempo entre eventos que humedezcan al suelo, del poder evaporante de la atmósfera (ETo) y de la magnitud del evento de humedecimiento. (FAO, 2008)

B. Fase De Desarrollo (Emergencia - Tuberogénesis)

Periodo comprendido entre la emergencia y el desarrollo de estructuras diferenciadas denominadas estolones (20 días). Durante esta fase la plántula sobrevive de las reservas contenidas en el tubérculo-madre y la hormona vegetal presente es una giberelina, presente en la región sub apical (Tavares, 2002). Durante este período crece tanto las raíces, como el follaje, constituyendo por ello la fase de crecimiento vegetativo. Es en la segunda mitad de esta fase cuando la planta alcanza su máxima cobertura foliar (IAF). La fotosíntesis, que es el proceso por el cual la planta elabora alimentos o fotoasimilados en las hojas, alcanza su mayor eficiencia en esta fase, especialmente en la segunda mitad (Medina, 1995).

C. Fase de Media Estación (Tuberización - Floración)

Durante esta fase aparecen el pedúnculo floral y la inflorescencia, crecen cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento y da inicio a la floración (Egúsquiza, 2000). En esta etapa el follaje aumenta y al terminar esta fase no se producen más hojas y empieza la floración. Se forman muchos fotoasimilados y parte de ellos descienden para ir aumentando el tamaño de los tubérculos. Los estolones han crecido lo suficiente, de manera que si no se les cubre con tierra con el aporque (amontonar), el estolón sale del suelo y forma hojas como cualquier otra rama. Por lo tanto en esta fase los tubérculos aumentan de peso y tamaño, especialmente al término de la fase III y comienzo de la fase IV. En esta fase la planta de papa es muy sensible a una sequía o falta de riego oportuno, provocando serios trastornos fisiológicos y con ello bajos rendimientos (Medina, citado por Quiroz, 2010).

Durante la etapa de mediados de temporada, el coeficiente K_c alcanza su valor máximo. El valor de K_c en esta etapa (K_c med) es relativamente constante para la mayoría de los cultivos y prácticas culturales. La diferencias entre el valor de K_c med con respecto al valor de referencia '1', son debidas principalmente a las diferencias en la altura del cultivo y la resistencia, entre la superficie del pasto de referencia y el cultivo agrícola, además de diferencias en las condiciones climáticas.

D. Etapa de Última Estación (Floración – Maduración)

La floración coincide con el inicio poco notorio de la senescencia y con el detenimiento del crecimiento vegetativo de la planta. Es a partir de la floración cuando se produce la regresión vegetativa y el llenado acelerado del tubérculo, es decir se acelera la madurez cronológica de la planta y del tubérculo por cosechar. (Medina, 1995).

El período de maduración se inicia con la senescencia de tallos y hojas. Este proceso es lento pero sostenido en el tiempo. En muchas variedades este proceso culmina con la caída de las plantas. Sin embargo, después de la caída, el tejido aéreo puede mantenerse parcialmente verde y activo. Se puede decir que la planta de papa alcanza su completa madurez natural cuando los tubérculos no continúan aumentado de peso, su piel está firme (no se desprende al presionarla con los dedos) y el follaje se encuentra seco (SIERRA et al, 2002).

Se asume que el cálculo de los valores de K_c y ET_c finaliza cuando el cultivo es cosechado. El valor de K_c al finalizar la etapa final (K_c fin) refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua. Si el cultivo es regado frecuentemente hasta el momento de su cosecha en fresco, el valor de K_c fin será alto. Si se permite la senescencia y secado del cultivo en el campo antes de la cosecha, el valor de K_c fin será bajo. El estado de senescencia es generalmente asociado a una conductancia menos eficiente de los estomas debido a los efectos del envejecimiento, lo que causa una reducción en el valor de K_c . (FAO, 2008.)

2.5.5. Requerimientos Agronómicos

A. Suelo

La papa requiere un suelo con buen drenaje, bien aireado, poroso con un pH de 5 a 6. Los requerimientos de fertilizantes son relativamente altos y por sistema de riego son de 80 a 120 kg ha⁻¹ de N, de 50 a 80 kg ha⁻¹ de P y 125 a 160 kg ha⁻¹ K. El cultivo se produce en surcos o en suelo plano. Para la producción de secano, la siembra en suelo plano tiende a dar mayores rendimientos debido a la conservación del agua del suelo. Bajo

riego el cultivo crece principalmente en surcos. La profundidad de siembra es generalmente de cinco a diez cm, mientras que la distancia entre plantas es de 0,75 x 0,3 m bajo riego y 1 x 0,5 m en condiciones de secano. El cultivo durante el período de crecimiento debe evitar el daño a las raíces y tubérculos, y en climas templados se realiza el aporque para evitar enverdecimiento de los tubérculos. El cultivo es moderadamente sensible a los suelos salinos con una reducción del rendimiento a diferentes niveles de CEE: 0% a 1.7; 10% a 2.5; 25% a 3.8; 50% a 5.9 y 100% a 10 mmhos/cm (FAO, 2014).

B. Agua

Para rendimientos altos, el requerimiento de agua del cultivo para plantaciones de 120 a 150 días son de 500 a 700 mm dependiendo del clima. La relación entre la máxima evapotranspiración de cultivo (ET_c) y la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) está dada por el coeficiente del cultivo (K_c). Durante su etapa inicial el K_c es 0.4 - 0.5 (20 a 30 días), en la etapa de desarrollo es 0.7-0.8 (30 a 40 días) en la media estación de 1.05 a 1.2 (30 a 60 días), en la etapa tardía de 0.85- 0.95 (20 a 35 días) y en la madurez 0.7- 0.75. En condiciones de secano se ha observado que una precipitación de 600 a 800 mm distribuidos regularmente durante el periodo vegetativo del cultivo de la papa es adecuada para obtener un buen rendimiento (Barrantes, 1993).

C. Clima

Los rendimientos se ven afectados por la temperatura, las temperaturas medias diarias óptimas son de 18 a 20 °C. En general se requiere una temperatura de noche por debajo de 15 °C para la iniciación de la tuberización. La temperatura óptima del suelo para el crecimiento normal del tubérculo es de 15 a 18 °C. El crecimiento del tubérculo está fuertemente inhibida cuando está por debajo de 10 °C y por encima de 30 °C. Las variedades de papa se pueden agrupar en temprana (90 a 120 días), media (120 a 150 días) y variedades tardías (150 a 180 días). Las condiciones de frío en la plantación ralentiza la emergencia pudiendo extender el período de crecimiento. Las primeras variedades mejoradas para los climas templados requieren un fotoperíodo de 15 a 17 horas,

mientras que las variedades tardías producen buenos rendimientos tanto en condiciones largas o cortas de días. Para los climas tropicales, variedades que toleran días cortos son requeridos para la adaptación local.

2.6. Antecedentes Investigativos

BERRÚ (2008), reporta valores promedio de los coeficientes de cultivo (K_c) según etapas fenológicas para el cultivo de Maíz Amarillo duro (*Zea mays L.*) por el método de lisímetros de drenaje en el valle del medio Piura. Obtenidos a partir de una evapotranspiración máxima (ET_m) entre la Evapotranspiración de referencia (ET_o) existente en la zona. Siendo los K_c obtenidos en cuatro etapas fonológicas del cultivo. Primera etapa de establecimiento del cultivo con un $K_c = 0.71$ (19 días), segunda etapa de crecimiento vegetativo y aparición de panoja con un $K_c = 1.12$ (40 días), tercera etapa de floración y formación de mazorca con un $K_c = 1.69$ (25 días) y la cuarta etapa periodo de maduración a cosecha con un $K_c = 0.93$ (24 días).

Los coeficientes de cultivo (K_c) por el método de lisímetros de drenaje libre para el cultivo de Alcachofa var. Imperial Star. De acuerdo a los resultados obtenidos de Evapotranspiración del cultivo (ET_c) originada por los lisímetros de Drenaje y la Evapotranspiración de referencia (ET_o) originada por un cultivo de referencia. Tanque de Evaporación clase A y estación automática. En las condiciones climáticas y meteorológicas de la irrigación de Majes. Siendo los k_c obtenidos en cuatro etapas de desarrollo de cultivo, etapa inicial con un $k_c = 0,4$ (70 días), etapa de desarrollo con un $k_c = 1,0$ (21 días), etapa de media temporada con un $k_c = 1,6$ (56 días), y la etapa final con un $k_c = 1,4$ (21 días) (OLIVERA, 2009).

AUTODEMA (2009). Menciona la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) en los cultivos de Quinoa var. Real Blanca, papa var. Única, Cebolla var. Agregatum, Girasol aceitero var. SS2107, perejil var. Crispum, alfalfa var. California, Alcachofa var. Star; dados por el método de lisímetros de drenaje libre de acuerdo a los resultados obtenidos de Evapotranspiración del cultivo (ET_c) originada por los lisímetros de Drenaje y la Evapotranspiración de referencia (ET_o) originada por un cultivo de referencia, Tanque de Evaporación Clase A y estación automática. En las condiciones climáticas de la Irrigación de Majes.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en el centro de investigación de la Universidad Católica de Santa María, fundo “La Banda” – Huasacache, situado en el distrito de Hunter, provincia y región Arequipa, el mismo que se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas, Cuadro 03, Fotografías. 01 y 02 y Plano 01.

CUADRO 3 Coordenadas del Lugar de Ejecución

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud	16°27'30"	Norte	8178604.131
Longitud	71°33'58"	Este	225993.828
Altitud	2208 m.s.n.m.	Altitud	2208 m.s.n.m.

FOTO 1 Ubicación - Fundo la Banda Huasacache



3.2. Fecha de Inicio y Término

La construcción del lisímetro de drenaje libre se inició el 28 de octubre del 2016 y se concluyó en mayo del 2017 con las pruebas de laboratorio.

3.3. Climatología

Huacacache presenta un clima templado-cálido, semiárido por ser zona aledaña a los cerros del yacimiento de Cerro Verde. Durante casi todo el año es seco y soleado a excepción de los meses de verano. Los datos climatológicos han sido obtenidos de la Estación Huacacache perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

3.4. Materiales

3.4.1. Material Biológico

 Semilla de papa var. Única.

3.4.2. Materiales De Campo

A. Lisímetro de Drenaje Libre

Construcción e Instalación de Lisímetro de Drenaje Libre

- o Cemento Portland
- o Arena Gruesa
- o Piedra chancada
- o Grava
- o Fierro 3/8"
- o Alambre negro
- o Malla de fierro diámetro 5mm
- o Medidor de volumen 1/2"
- o Válvula de bola diámetro 3/4"
- o Tee de polietileno diámetro 25 mm X 3/4"
- o Impermeabilizante Sika
- o Collarín diámetro 63 mm
- o Reducción Bushing 1" X 3/4"
- o Adaptador 25 mm X 3/4"
- o Codo de polietileno diámetro 25 mm
- o Tubería de polietileno diámetro 25 mm
- o Filtro malla 3/4"

B. Riego y Labores Culturales

- o Cintas de goteo clase 5000 con goteros con distanciamiento de 30 cm.
- o Alimentador de agua
- o Baldes milimetrados
- o Beaker
- o Pala
- o Pico
- o Coreadores

C. Estación Meteorológica

- o Tanque de Evaporación Clase “A”

3.4.3. Material Y Equipo De Escritorio

- o Computadora
- o Fichas de evaluación
- o lapiceros
- o Hojas de papel bond
- o Calculadora
- o Programas estadísticos
- o Libreta de campo
- o Cámara fotográfica

3.4.4. Materiales Y Equipo De Laboratorio

- o Balanza analítica
- o Vernier
- o cronómetro

3.5. Metodología

3.5.1. Diseño, Fabricación E Instalación Del Lisímetro De Drenaje Libre

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo, se diseñó, se fabricó y se instaló un lisímetro de drenaje libre (4.5 m²/lisímetro) en el centro de investigación de la Universidad Católica de Santa María “La Banda” – Huasacache.

A. Diseño y Fabricación de la Caja del Lisímetro

El lisímetro consiste en una estructura de fibra de vidrio, reforzado mediante una estructura metálica en forma de jaula que lo envuelve.

Este lisímetro tiene la forma de un prisma pentagonal y cuyas caras laterales son 4 rectángulos.

FOTO 2 Fabricación de la Caja del Lisímetro



Características de Diseño y fabricación:

- ✓ Las medidas de la estructura son 3 m de largo por 1.5 m de ancho. La altura de la base de entrada es de 0.70 m y la de salida es de 1 m; este desnivel de 0.30 m permitirá un drenaje adecuado del agua aplicada.
- ✓ La estructura se diseñó utilizando el programa de AutoCAD siguiendo las características técnicas. (Ver Anexo – Planos)
- ✓ La estructura fue diseñada y fabricada en fibra de vidrio (FV). En el exterior del mismo posee una estructura metálica en forma de jaula para aumentar su resistencia.
- ✓ La estructura de fibra de vidrio con las características técnicas se mandó a fabricar en la empresa “Reparaciones en Fibra de Vidrio M. Y.”

**FOTO 3 Caja del Lisímetro con Estructura Metálica en
Forma de Jaula**



B. Instalación

✓ **Lugar de Instalación**

Se instaló en el centro de investigación de la Universidad Católica de Santa María “La Banda” – Huasacache, situado a 50 m de la estación meteorológica SENAMHI.

✓ **Obras Civiles**

- Marcado de terreno para realizar la excavación, siguiendo las medidas de diseño de lisímetro.
- **Excavación caseta de toma de datos:** Se contrató tres obreros para realizar la excavación. Profundidad 1.75 m, ancho 2.82, largo 2.76 m
- **Excavación para la caja del lisímetro:** se continuo con el mismo personal y se excavaron las siguientes dimensiones, profundidad 1.5 m, ancho 1.7 m, largo 3.10 m
- **Nota:** a la hora de la excavación donde se va a ubicar la caja del lisímetro se debe mantener el orden de las capas y la densidad tal como se han extraído, ya que tiene que estar en lo posible la situación originaria del suelo.

FOTO 4 Obras Civiles



✓ **Construcción Caseta de Toma de Datos y Marco que Envuelve a la Caja del Lisímetro.**

- La caseta de toma de datos se ubicó en la parte central del lisímetro donde estará la salida y depósito de drenaje de éste. Esta estructura fue diseñada en concreto armado, el espesor de las paredes de la caseta es de 0.15 m y el de piso es de 0.10 m.
- El marco que cubre a la estructura de fibra de vidrio es de concreto armado $f'c$: 175 k./cm², con un espesor de 0.15 m, con acero de refuerzo $f'y$: 4 200 kg /cm².

FOTO 5 Construcción de Caseta de Tomas de Datos



✓ **Instalación de Caja del Lisímetro**

La caja del lisímetro se colocó en la excavación antes realizada y reposará sobre el suelo tamizado con un espesor de 0.50m, asimismo se utilizó un nivel de burbuja para determinar la horizontalidad de la caja.

Después de haber colocado la caja del lisímetro en la parte inferior de la cara de la base de salida será colocado un tubo de PVC de 1" de diámetro donde se conectará una válvula de bola de 1" la cual evacuará el agua a un depósito de drenaje.

En la parte más profunda del tanque (forma triangular) se colocó primero una capa de piedra chancada de 1" de diámetro para evacuar en forma adecuada el agua de drenaje, esta capa cumple la función de filtro para evitar la obstrucción del sistema de drenaje y permite el movimiento libre del agua para ser recolectado en el depósito de recepción.

El material de suelo y grava será separado por una malla metálica de dos milímetros de espesor y con aberturas de cinco milímetros de diámetro.

Posteriormente se procedió a llenar la caja del lisímetro con las capas de suelo según los horizontes encontrados al excavar, cuando se hizo la excavación se tuvo en cuenta separar el suelo por horizontes, encontrándose el horizonte A con 20 cm (capa arable) y el horizonte B con un grosor de 80 cm aproximadamente.

FOTO 6 Instalación de la Caja del Lisímetro



FOTO 7 Instalación de la Caja del Lisímetro



3.5.2. Instalación del Sistema de Riego

El lisímetro de drenaje libre (5 m² lisímetros) es un depósito en donde se aplicará agua para el riego y así mismo presenta un depósito de recepción de agua de drenaje.

A. Componentes del Sistema de Riego

o Tanque de Alimentación

Se utilizó un tanque de forma cubica de 0.30 x 0.30 m de base y 0.90 m de altura, este depósito esta hecho de vidrio, y tiene adherida una regla metálica de 0.90 m de alto, graduada en milímetros.

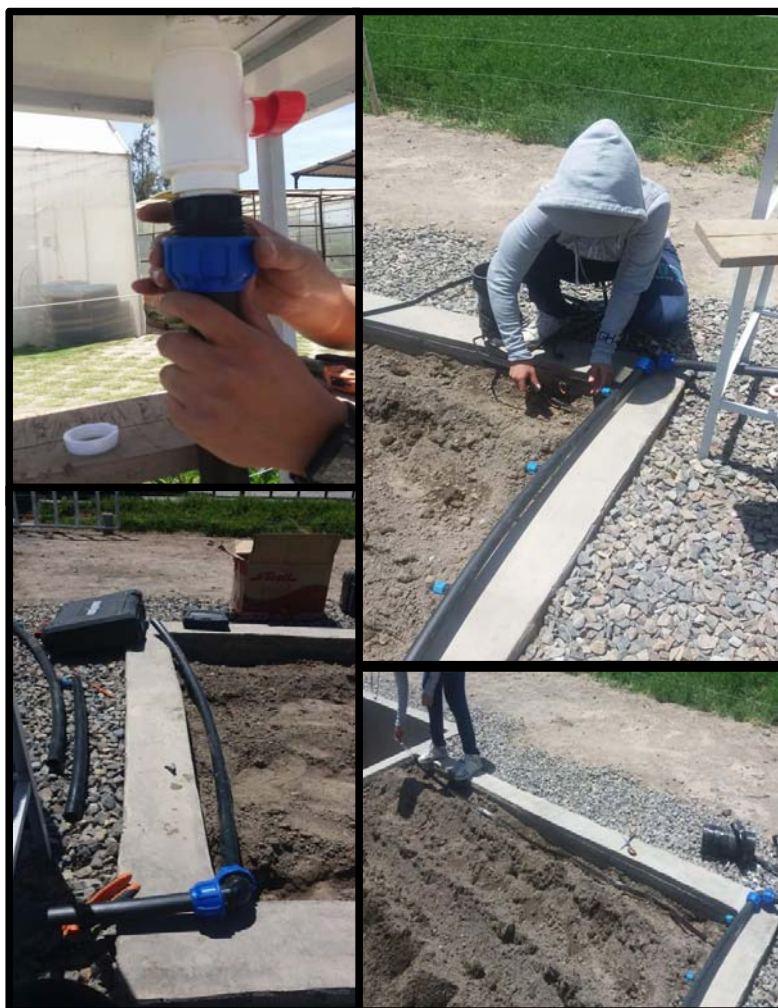
FOTO 8 Instalación del Tanque de Alimentación



o Red de Distribución

Se acopló una válvula de paso tipo bola de PVC en el tanque de alimentación, seguidamente se acopló una tubería de distribución de 63 mm de diámetro de polietileno, de ésta tubería salió un lateral de riego, del mismo material y diámetro donde se colocaron 3 cintas de goteo cuyo caudal es de 1 l/hr, con espaciamiento de 0.30 m, antes de la entrada al lisímetro, se colocó un filtro de malla de $\frac{3}{4}$ ".

FOTO 9 Red de Distribución



o Salida de Agua – Deposito de Recepción de Drenaje de Agua

Este depósito que recibe el agua de drenaje, es de forma paralelepípeda de 0.30 x 0.30 m de base y 0.40 m de altura; este depósito esta hecho de vidrio, y tiene adherida una regla metálica de 0.4 m de alto, graduada en milímetros.

3.5.3. Estación Meteorológica – SENAMHI

Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica SENAMHI ubicada en el Distrito de Hunter en el centro de investigación experimental – Fundo La Banda Huasacache, perteneciente a la Universidad Católica de Santa María.

A. Tanque de Evaporación Clase “A” - Estación Meteorológica SENAMHI

DOORENBOS (1977), menciona que el tanque Clase A es circular 120,7 cm. de diámetro y 25 cm. de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). Se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm. por encima del nivel del suelo. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta cinco cm. por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de siete punto cinco cm. por debajo del borde. El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse. Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales.

3.5.4. Instalación del Cultivo

A. Análisis de Suelo.

Para comenzar la instalación de un cultivo, lo más recomendable es hacer un análisis de suelo, el cual es una herramienta fundamental para evaluar las características propias del suelo. (Ver Anexo – N° 01)

B. Calibración de Depósitos.

Se calibró el tanque de alimentación y depósito de recepción de agua de drenaje. El lisímetro cuenta con un tanque que aplicará agua para riego y

un depósito de recepción de agua de drenaje. El volumen de agua en litros de cada depósito fue calibrado en función a la altura de agua en cm. de la regla graduada del depósito.

C. Puesta en Capacidad de Campo (CC) del suelo del lisímetro.

Se aplicó un volumen de agua uniforme al suelo del lisímetro hasta la saturación. Recordemos que el suelo llega al punto de saturación cuando el agua ocupa todos los espacios vacíos del suelo.

Luego se procede abrir la llave de control del sistema de drenaje y una vez que cesa de drenar por acción de la gravedad (agua gravitacional) se dice que el suelo está a capacidad de campo. En este estado de humedad del suelo los espacios vacíos son denominados macroporos y los poros ocupados por el agua son los microporos,

FOTO 10 Suelo Puesto a Capacidad de Campo



La prueba antes descrita es realizada para que el suelo del lisímetro se encuentre a capacidad de campo antes de la siembra del cultivo, y después de las aplicaciones del riego, el flujo de agua sea constante y garantice un drenaje permanente desde el inicio de la toma de datos.

D. Siembra.

Cuando estuvo el suelo del lisímetro a Capacidad de Campo (CC) previa verificación, que deje de drenar agua al depósito de recepción, se procedió con la siembra. El distanciamiento entre plantas fue de 30 cm. y 20 cm entre surcos colocando una semilla de papa por golpe, teniendo un total de 27 golpes en una área de 4.5 m^2 , teniendo tres hileras de 3 m de largo, cada hilera con una cinta de riego (Rodrip) con un espaciamiento de 0.30 m entre gotero y gotero y 0.43 m entre cinta y cinta de riego.

FOTO 11 Siembra



E. Aplicaciones de Agua.

En forma diaria a las 7:00 horas se aplicó al lisímetro un volumen de agua conocido y calculado, uniformemente para toda la superficie y se anota el volumen aplicado en un registro de datos.

En forma diaria a las 7:00 horas se midió el volumen de agua drenado del lisímetro y se anotó en un registro de datos. Dicha operación de toma de datos se realizará en forma diaria al lisímetro instalado.

FOTO 12 Deposito para Riego



3.6. Evaluaciones

3.6.1. Toma de Datos

Al final de la cosecha, se contó con datos diarios de volúmenes de agua aplicados al lisímetro y de volumen de agua drenados, cuya diferencia dará la Evapotranspiración del Cultivo (ETc).

El coeficiente de cultivo Kc, se determina por el cociente de la ETc entre la ETo, el que se halla en forma diaria para el cultivo de papa.

3.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

A la cosecha del cultivo investigado se contó con datos diarios. De la diferencia de los volúmenes de entrada (VE) menos (-) los volúmenes de salida (VS), dicho valor es llevado a litros. Se tiene que saber que 1 l es igual a 1 dm³, la diferencia entre el volumen aplicado y el volumen drenado se convierte a dm³ y este resultado es llevado a m³ por lo tanto se procede a dividir entre mil, el resultado se dividirá por el área en este caso 4.5 m², se obtiene un resultado en m, se procede a convertir a mm por lo tanto se multiplica por 1000, expresando la evapotranspiración del cultivo (ETc) en mm diaria/mensual. (Ver Punto – 4.3)

3.6.3. Evapotranspiración de Referencia (ETo)

Se obtuvo un registro de las lecturas de evaporación diaria dadas por el efecto de las condiciones meteorológicas del Distrito de Hunter, obtenidas con el método del Tanque de Evaporación Clase “A” (Eo) que al ser multiplicado por el coeficiente de tanque (Kt) dio como resultado la evapotranspiración de referencia(ETo) en mm diaria/mensual. (Ver Punto – 4.4.2)

Dónde:

$$ETo = Kt * Eo$$

Kt = coeficiente del tanque evaporímetro

Eo = Información del tanque de evaporación tipo A

3.6.4. Coeficiente De Cultivo (Kc) en Las Etapas Fenológicas

Se ha determinado cinco etapas a considerar en la determinación del Kc, fase de brotación y emergencia, fase de crecimiento vegetativo, fase de floración

e inicio de tuberización, fase de desarrollo de tubérculo y fase de maduración y senescencia, por lo cual se determinó y graficó de los coeficientes de cultivo (K_c) en cada etapa fenológica mediante el resultado del cociente de evapotranspiración del cultivo (ET_c) entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) promedio diaria en los 03 lisímetros instalados en el campo comercial del cultivo. (Ver Punto – 4.2.3)

3.6.5. Evaluaciones Durante el Desarrollo del Cultivo

A. Emergencia (%)

Esta evaluación se realizó a los 25 días después de la siembra y se tomaron en cuenta el número de plantas emergidas con respecto a las sembradas. (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 13 Brotación y Emergencia



B. Altura de planta (cm)

Para esta evaluación se utilizaron diez plantas elegidas al azar y se evaluó con una frecuencia de tres días después de la siembra, midiéndose desde el cuello hasta el ápice de la planta u hoja más apical. (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 14 Altura de Planta



C. Número de Tallos

Se determinó contando el número de tallos a diez plantas elegidas al azar y se evaluó con una frecuencia de tres días hasta el término de crecimiento vegetativo. (Ver Cuadro – 21 y 22)

D. Número de Flores

Los datos referidos a los días en floración se tomaron cuando el cultivo alcanzo más del 75 % en floración; se abarco el 50% de las plantas identificadas en el experimento y se fue contabilizando el número de flores por planta. . (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 15 Floración



E. Numero de Tubérculos / Planta

Se procedió a cosechar diez plantas al azar como muestra de la unidad experimental, contando el número de tubérculos por planta. . (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 16 Número de Tubérculos por Planta



F. Peso de Tubérculos (kg)

Para esta evaluación se determinaron diez plantas y se procedió a pesar todos los tubérculos de cada planta para posteriormente seleccionarlas y clasificarlas en categorías de extra, primera, segunda, tercera y descarte para luego pesarlas con una balanza de reloj. (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 17 Pesado de Tubérculos



G. Rendimiento (t-ha)

Esta labor se realizó cuando los tubérculos presentaron síntomas de madurez, para luego proceder a la selección y clasificación según peso en tres categorías (CIP, 1986).

El pesado de todos los tubérculos se realizó en el mismo campo; posteriormente se estimaron los rendimientos por categorías y por hectárea. Conocida el área de cada parcela y el peso total de tubérculos, se procedió a estimar el rendimiento por hectárea, expresándolo en T/ha (Ver Cuadro – 21 y 22)

FOTO 18 Tubérculos por Planta



CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo condiciones edafoclimáticas del Distrito de Hunter –Arequipa

CUADRO 4 Coeficiente de Cultivo (Kc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única en sus diferentes Etapas Fenológicas

Etapas de desarrollo del cultivo	Periodo vegetativo (días)	Periodo vegetativo (Semanas)	Coeficiente del cultivo (Kc)
I	19	0 - 3	0,16
II	24	3 - 6	0,72
III	23	6 - 10	0,94
IV	45	10 - 16	1.38
V	19	16-19	1.12
	130 días		

Fuente: Elaboración propia

Para poder determinar el coeficiente de cultivo (Kc) del cuadro 4 se tuvo que seguir una serie de procedimientos que a continuación se describen.

4.2. Diseño, Construcción e Implementación de un Lisímetro de Drenaje Libre.

Se instaló en el centro de investigación de la Universidad Católica de Santa María “La Banda” – Huasacache, situado en el distrito de Hunter, provincia y región de Arequipa.

El lisímetro instalado cuenta con una estructura de fibra de vidria reforzado con una estructura metálica en forma de jaula que lo envuelve, sus características de diseño y fabricación pueden observarse en el Anexo – Planos

Para determinar la evapotranspiración del cultivo, se diseñó, se fabricó y se instaló un lisímetro de drenaje libre siguiendo las recomendaciones y conceptos de Pacheco y Alonzo, (1995). y Luque, J. (1981).

4.2.1. Suelo Puesto a Capacidad de Campo (Cc)

Con base al análisis de caracterización del suelo (Ver Anexo – 01) y usando muestras llevadas al laboratorio a 105 grados para determinar el estado de humedad a capacidad de campo del suelo.

CUADRO 5 Datos del Porcentaje de Capacidad de Campo (% CC) a las 24, 48, 72 y 96 horas del suelo del lisímetro de la investigación

DÍA	MUESTRA	Msh (g)	Mss (g)	% Cc	Promedio Cc
1 (24 h) - 105°C	A	250	226	10,62	10,80
	B	250	222	12,61	
	C	250	229	9,17	
2 48 h) - 105°C	A	250	215	16,28	15,95
	B	250	212	17,92	
	C	250	220	13,64	
3 (72 h) - 105°C	A	250	214	16,82	16,48
	B	250	212	17,92	
	C	250	218	14,68	
4 (96 h) - 105°C	A	250	214	16,82	16,66
	B	250	211	18,48	
	C	250	218	14,68	
PROMEDIO GENERAL					14,97

$$CC = \frac{(Msh - Mss)}{Mss} \times 100$$

Donde: % Cc = Capacidad de campo (porcentaje de humedad disponible en el suelo)

Msh = masa de suelo húmedo

Mss = masa de suelo seco

En el cuadro anterior se desprende que la capacidad de campo porcentaje de humedad disponible del suelo (% de Hd) de los lisímetros fue de **14.97%** también nos muestra que a medida que pasa el tiempo la capacidad de campo va disminuyendo y fue calculada mediante la fórmula de **Bodman y Mahmud**, con los resultados del análisis de suelo **ver anexo 01**.

Arcilla (Ac), Limo (L), y Arena (Ar), contenidos en el suelo:

$$CC\% \text{ ms} = 0,61 * (\%Ac) + 0,25 * (\%L) + 0,023 * (\%Ar)$$

$$CC = 0,61 (13) + 0,25 (22) + 0,023 (65)$$

$$CC\% \text{ ms} = 14,93\%$$

Para transformar de masa seca a masa volumen tan solo debemos multiplicar por la densidad aparente.

$$CC\% \text{ ms} = 14,93\% * 1,57 (\text{Da})$$

$$CC\% \text{ mv} = 23,43$$

Por otro lado el **Punto de Marchitez Permanente**, fue calculado mediante la fórmula de **Briggs**, que expresa:

Arcilla (Ac), Limo (L), y Arena (Ar), contenidos en el suelo:

$$PMP = 0,302 * Ac + 0,102 * L + 0,0147 * Ar$$

$$PMP = 0,302 (13) + 0,102 (22) + 0,0147 (65)$$

$$PMP = 7,12\%$$

4.3. Obtención de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. única

4.3.1. Evapotranspiración de Cultivo en fase de Brotación y Emergencia

CUADRO 6 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en
Fase de Brotación y Emergencia

Volumen de Entrada (VE) (litros) (Etc - Pp)*area	Volumen de salida (VS) (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67
3.0	0	3	0.67

4.3.2. Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Crecimiento Vegetativo

**CUADRO 7 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en
Fase de Crecimiento Vegetativo**

Volumen de Entrada (litros) (Etc - Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)
10.9	1.0	9.88	2.19
10.6	0.8	9.79	2.18
8.9	0.7	8.21	1.82
9.0	0.1	8.89	1.97
18.9	0.7	18.20	4.04
9.0	5.0	4.00	0.89
8.9	3.0	5.91	1.31
11.5	2.0	9.51	2.11
13.6	0.8	12.75	2.83
7.7	0.6	7.10	1.58
9.0	0.5	8.50	1.89
18.9	0.3	18.63	4.14
13.0	0.7	12.27	2.73
16.2	0.1	16.10	3.58
14.4	5.0	9.40	2.09
28.4	3.0	25.35	5.63
31.1	5.0	26.05	5.79
7.1	9.6	2.49	0.55
1.2	7.0	5.81	1.29
11.7	6.5	5.20	1.16
8.3	4.0	4.33	0.96
17.1	3.9	13.25	2.94
14.4	5.3	9.10	2.02
20.3	11.0	9.25	2.06

4.3.3. Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en fase de Floración e Inicio de Tuberización

CUADRO 8 Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Floración e Inicio de Tuberización

Volumen de Entrada (litros) (Etc - Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)
4.7	10.5	5.81	1.29
18.9	13.0	5.90	1.31
16.2	5.0	11.20	2.49
15.8	3.1	12.65	2.81
17.1	1.6	15.53	3.45
18.9	1.1	17.81	3.96
27.9	3.6	24.30	5.40
22.8	8.0	14.75	3.28
19.3	7.0	12.28	2.73
15.3	5.0	10.34	2.30
16.9	1.0	15.91	3.54
16.4	0.2	16.24	3.61
15.6	0.1	15.47	3.44
19.3	0.1	19.22	4.27
18.8	0.1	18.65	4.14
13.5	0.3	13.23	2.94
18.0	0.1	17.86	3.97
17.4	0.2	17.24	3.83
18.5	0.4	18.07	4.02
17.2	0.8	16.38	3.64
10.9	0.9	9.98	2.22
17.6	1.0	16.59	3.69
16.7	0.2	16.49	3.66

4.3.4. Evapotranspiración del cultivo de Cultivo (ETc) en Fase de Desarrollo de Tubérculos

CUADRO 9 Evapotranspiración de Cultivo (Etc) en Fase de Desarrollo de Tubérculos

Volumen de Entrada (litros) Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)
23.1	0.1	23.03	5.12
20.1	0.4	19.70	4.38
14.6	0.2	14.44	3.21
20.3	0.1	20.15	4.48
27.2	0.3	26.85	5.97
9.2	0.1	9.09	2.02
26.2	0.3	25.95	5.77
8.6	3.0	5.55	1.23
12.2	2.3	9.85	2.19
27.5	1.5	25.95	5.77
28.9	5.0	23.85	5.30
16.2	5.0	11.20	2.49
30.3	0.5	29.82	6.63
29.3	4.2	25.05	5.57
24.3	2.0	22.33	4.96
22.3	1.0	21.37	4.75
21.1	0.4	20.76	4.61
21.5	0.2	21.35	4.74
21.1	0.1	21.01	4.67
23.6	1.6	22.03	4.90
12.6	2.3	10.30	2.29
20.1	0.2	19.90	4.42
12.2	0.0	12.15	2.70
9.5	0.8	8.65	1.92
15.4	5	10.44	2.32
15.8	2	13.75	3.06
27.0	1	26.00	5.78
1.4	0.8	0.60	0.13
15.1	2	13.08	2.91
22.3	3	19.32	4.29
15.5	0.4	15.11	3.36
19.0	0.5	18.46	4.10
18.1	1	17.09	3.80
19.8	0.8	19.02	4.23
18.1	0.2	17.89	3.98
26.6	0.9	25.65	5.70
21.1	1	20.11	4.47
13.5	2	11.47	2.55
21.9	2	19.92	4.43
12.4	0.8	11.58	2.57
11.9	0.8	11.08	2.46
10.2	0.9	9.34	2.07
14.7	0.5	14.20	3.16
13.8	0.2	13.64	3.03
15.4	0.3	15.13	3.36

4.3.5. Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Maduración y Senescencia

CUADRO 10 Evapotranspiración de Cultivo (ETc) en Fase de Maduración y Senescencia

Volumen de Entrada (litros) (Etc - Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)
16.1	0.1	15.97	3.55
16.1	0	16.09	3.58
17.0	0.1	16.88	3.75
17.0	0.1	16.88	3.75
16.1	0.2	15.87	3.53
16.7	0.4	16.31	3.62
16.4	0.8	15.59	3.46
14.6	0.9	13.70	3.05
14.8	1	13.79	3.07
14.9	2	12.90	2.87
18.2	1	17.17	3.82
18.6	0.9	17.72	3.94
17.9	0.7	17.18	3.82
17.3	0.8	16.48	3.66
16.4	0.7	15.69	3.49
14.0	0.1	13.91	3.09
16.1	0.2	15.89	3.53
15.8	0.1	15.65	3.48
14.9	0.1	14.80	3.29

Los datos registrados del lisímetro de drenaje libre durante el período vegetativo del cultivo de papa var. unica referentes al cálculo de la evapotranspiración (ETc) expresados diariamente en mm/día.

4.4. Obtención de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) Utilizando el Método del Tanque Evaporímetro Tipo Clase “A”

Los registros de Evaporación (E) y cálculos de Evapotranspiración de Referencia (ET_o) considerando un coeficiente de tanque (K_t) según la humedad relativa (HR) y velocidad del viento (V_v).

Se observa en los siguientes cuadros la evapotranspiración referencial, bajo condiciones del Distrito de Hunter desde la siembra del cultivo hasta la cosecha del mismo, haciendo un total de 130 días.

4.4.1. Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en Fase de Brotación y Emergencia

CUADRO 11 Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en Fase de Brotación y Emergencia

Fecha	Evaporación mm/día	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	Eto mm/día Evap x Kt
	7,5					
12/12/2016	8,1	36	3	259,2	0,6	4,5
13/12/2016	7,2	37	3	259,2	0,6	4,86
14/12/2016	6,4	35	4	345,6	0,6	4,32
15/12/2016	6,6	42	2	172,8	0,75	4,8
16/12/2016	6,5	45	3	259,2	0,7	4,62
17/12/2016	6,7	52	3	259,2	0,7	4,55
18/12/2016	7,1	51	3	259,2	0,7	4,69
19/12/2016	7,2	51	4	345,6	0,7	4,97
20/12/2016	6,8	48	3	259,2	0,7	5,04
21/12/2016	6,1	47	3	259,2	0,7	4,76
22/12/2016	5	57	3	259,2	0,7	4,27
23/12/2016	5,7	64	3	259,2	0,7	3,5
24/12/2016	5,4	57	4	345,6	0,7	3,99
25/12/2016	4,6	60	3	259,2	0,7	3,78
26/12/2016	6,6	64	3	259,2	0,7	3,22
27/12/2016	5,2	63	3	259,2	0,7	4,62
28/12/2016	4,2	58	3	259,2	0,7	3,64
29/12/2016	4,1	70	3	259,2	0,7	2,94
30/12/2016	5	70	3	259,2	0,7	2,87

4.4.2. Evapotranspiración de referencia en Fase de Crecimiento Vegetativo

CUADRO 12 Evapotranspiración de referencial en Fase de Crecimiento Vegetativo

Fecha	Evaporación mm/día	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	Eto mm/día Evap x Kt
31/12/2016	4,5	67	3	259,2	0,7	3,5
01/01/2017	3,5	73	3	259,2	0,75	3,375
02/01/2017	3,8	74	3	259,2	0,75	2,625
03/01/2017	6,2	69	3	259,2	0,7	2,66
04/01/2017	2,9	69	3	259,2	0,7	4,34
05/01/2017	3,5	79	2	172,8	0,85	2,465
06/01/2017	5,4	82	3	259,2	0,75	2,625
07/01/2017	6,7	64	3	259,2	0,7	3,78
08/01/2017	3,3	55	3	259,2	0,7	4,69
09/01/2017	3,4	66	3	259,2	0,7	2,31
10/01/2017	5,7	81	1	86,4	0,85	2,89
11/01/2017	3,9	80	3	259,2	0,75	4,275
12/01/2017	3,2	77	3	259,2	0,75	2,925
13/01/2017	2,9	76	2	172,8	0,85	2,72
14/01/2017	5,6	84	4	345,6	0,75	2,175
15/01/2017	6,3	89	1	86,4	0,85	4,76
16/01/2017	2,7	90	2	172,8	0,85	5,355
17/01/2017	2,2	83	2	172,8	0,85	2,295
18/01/2017	3,5	82	3	259,2	0,75	1,65
19/01/2017	2,3	88	1	86,4	0,85	2,975
20/01/2017	4	86	2	172,8	0,85	1,955
21/01/2017	3,8	83	3	259,2	0,75	3
22/01/2017	5,6	91	2	172,8	0,85	3,23
23/01/2017	3,8	87	2	172,8	0,85	4,76

4.4.3. Evapotranspiración de referencia en Fase de Floración e Inicio de Tuberización

CUADRO 13 Evapotranspiración de referencia en Fase de Floración e Inicio de Tuberización.

Fecha	Evaporación mm/día	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	Eto mm/día Evap x Kt
24/01/2017	6,2	80	4	345,6	0,75	2,85
25/01/2017	3,4	83	3	259,2	0,75	4,65
26/01/2017	3,3	86	3	259,2	0,75	2,55
27/01/2017	5,2	84	3	259,2	0,75	2,475
28/01/2017	6,2	81	3	259,2	0,75	3,9
29/01/2017	5,6	77	3	259,2	0,75	4,65
30/01/2017	7,2	81	3	259,2	0,75	4,2
31/01/2017	6,2	73	4	345,6	0,75	5,4
01/02/2017	4,7	68	4	345,6	0,7	4,34
02/02/2017	5,3	67	3	259,2	0,7	3,29
03/02/2017	5,1	66	3	259,2	0,7	3,71
04/02/2017	4,8	62	4	345,6	0,7	3,57
05/02/2017	6,2	63	4	345,6	0,7	3,36
06/02/2017	6	54	3	259,2	0,7	4,34
07/02/2017	4,2	54	3	259,2	0,7	4,2
08/02/2017	5,7	55	3	259,2	0,7	2,94
09/02/2017	5,5	58	3	259,2	0,7	3,99
10/02/2017	5,5	63	3	259,2	0,7	3,85
11/02/2017	5,4	73	4	345,6	0,75	4,125
12/02/2017	2,8	67	4	345,6	0,7	3,78
13/02/2017	3,5	76	3	259,2	0,75	2,1
14/02/2017	2,8	79	3	259,2	0,75	2,625
15/02/2017	5	72	2	172,8	0,85	2,38

4.4.4. Evapotranspiración de Referencia en Fase de Desarrollo de Tubérculos

CUADRO 14 Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en Fase de Desarrollo de Tubérculos

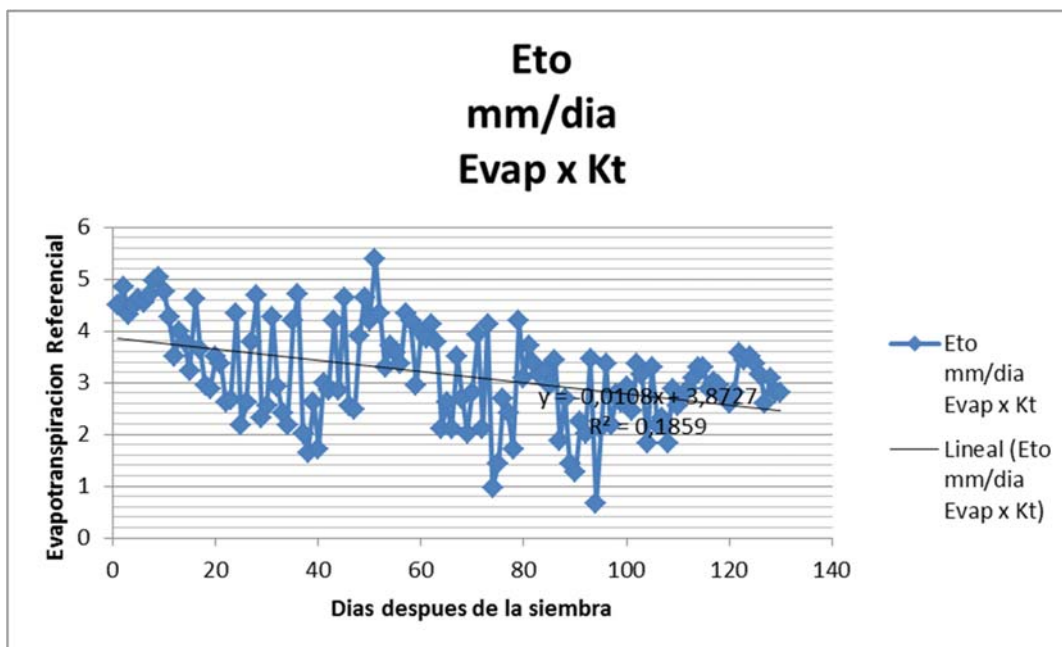
Fecha	Evaporación mm/día	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	Eto mm/día Evap x Kt
16/02/2017	3,6	65	5	432	0,7	3,5
17/02/2017	2,7	82	1	86,4	0,85	3,06
18/02/2017	4	73	1	86,4	0,75	2,025
19/02/2017	5,6	66	4	345,6	0,75	3
20/02/2017	2,8	60	4	345,6	0,75	4,2
21/02/2017	5,9	78	2	172,8	0,85	2,38
22/02/2017	1,3	69	3	259,2	0,7	4,13
23/02/2017	1,9	80	1	86,4	0,85	1,105
24/02/2017	3,6	76	3	259,2	0,75	1,425
25/02/2017	3,2	81	2	172,8	0,75	2,7
26/02/2017	2,3	85	1	86,4	0,85	2,72
27/02/2017	5,6	92	1	86,4	0,85	1,955
28/02/2017	4,1	80	2	172,8	0,85	4,76
01/03/2017	5,3	77	3	259,2	0,75	3,075
02/03/2017	4,8	67	3	259,2	0,7	3,71
03/03/2017	4,5	63	4	345,6	0,7	3,36
04/03/2017	4,6	66	3	259,2	0,7	3,15
05/03/2017	4,2	66	3	259,2	0,7	3,22
06/03/2017	4,9	61	2	172,8	0,75	3,15
07/03/2017	2,5	63	2	172,8	0,75	3,675
08/03/2017	3,6	76	3	259,2	0,75	1,875
09/03/2017	1,9	87	2	172,8	0,85	3,06
10/03/2017	1,7	92	1	86,4	0,85	1,615
11/03/2017	3	82	1	86,4	0,85	1,445
12/03/2017	2,7	77	3	259,2	0,75	2,25
13/03/2017	4,6	79	3	259,2	0,75	2,025
14/03/2017	0,9	80	3	259,2	0,75	3,45
15/03/2017	2,8	92	2	172,8	0,85	0,765
16/03/2017	4,8	83	3	259,2	0,75	2,1
17/03/2017	2,9	69	4	345,6	0,7	3,36
18/03/2017	3,7	74	3	259,2	0,75	2,175
19/03/2017	3,5	75	3	259,2	0,75	2,775
20/03/2017	3,9	74	3	259,2	0,75	2,625
21/03/2017	3,5	74	2	172,8	0,75	2,925
22/03/2017	4,5	65	2	172,8	0,75	2,625
23/03/2017	4,5	79	1	86,4	0,85	3,825
24/03/2017	2,6	65	3	259,2	0,7	3,15
25/03/2017	4,7	67	3	259,2	0,7	1,82
26/03/2017	3,1	60	3	259,2	0,7	3,29
27/03/2017	3,1	66	2	172,8	0,75	2,325
28/03/2017	2,6	72	2	172,8	0,75	2,325
29/03/2017	4,1	70	3	259,2	0,7	1,82
30/03/2017	3,4	69	3	259,2	0,7	2,87
31/03/2017	3,9	71	3	259,2	0,75	2,55
01/04/2017	4,1	63	2	172,8	0,75	2,925

4.4.5. Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en Fase de Maduración y Senescencia

CUADRO 15 Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en Fase de Maduración y Senescencia

Fecha	Evaporación mm/día	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	Eto mm/día Evap x Kt
02/04/2017	4,4	65	2	172,8	0,75	3,075
03/04/2017	4,7	64	3	259,2	0,7	3,08
04/04/2017	4,7	59	3	259,2	0,7	3,29
05/04/2017	4,1	53	3	259,2	0,7	3,29
06/04/2017	4,3	62	2	172,8	0,75	3,075
07/04/2017	4,2	65	2	172,8	0,75	3,225
08/04/2017	3,9	63	2	172,8	0,75	3,15
09/04/2017	3,7	60	3	259,2	0,7	2,73
10/04/2017	4	61	2	172,8	0,75	2,775
11/04/2017	5,1	58	3	259,2	0,7	2,8
12/04/2017	4,9	57	3	259,2	0,7	3,57
13/04/2017	5	52	2	172,8	0,75	3,675
14/04/2017	4,8	47	3	259,2	0,7	3,5
15/04/2017	4,5	50	3	259,2	0,7	3,36
16/04/2017	3,7	52	3	259,2	0,7	3,15
17/04/2017	4,4	50	3	259,2	0,7	2,59
18/04/2017	4	64	3	259,2	0,7	3,08
19/04/2017	4	67	2	172,8	0,75	3
20/04/2017	4	49	3	259,2	0,7	2,8

GRAFICA 3 Evapotranspiración de Referencia (ET_o) mm/diaria expresada semanalmente durante el desarrollo del cultivo en la investigación



Fuente: Elaboración propia

En la anterior gráfica se puede analizar datos de la evapotranspiración de referencia registrados por el Taque Tipo “A” teniendo esta una mayor evapotranspiración en los primeros 80 días después de la siembra y a partir de este la evapotranspiración de referencia comienza a descender, esto se debe a factores climáticos.

4.5. Determinación de los valores del coeficiente del Cultivo (K_c) por etapas fenológicas empleando la evapotranspiración de cultivo (ET_c) y Evapotranspiración de Referencia (ET_o). Para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv- Unica

El periodo de desarrollo del cultivo fue de 130 días, equivalentes a 18 semanas y 4 días. Obteniendo los datos diarios de la Evapotranspiración de cultivo (ET_c) del cultivo de papa, se dividió dicho dato entre la Evapotranspiración de referenciadiaria, teniendo coeficientes de cultivo (K_c) diarios, resultando K_c semanales, que se observan a continuación:

CUADRO 16 Coeficientes de cultivo (Kc) semanales

SEMANAS	Kc PROMEDIO/ SEMANAL	FASE FENOLÓGICA DEL CULTIVO	
1ra SEMANA	0,14	Brotación y Emergencia	
2da SEMANA	0,16		
3ra SEMANA	0,32		
4ta SEMANA	0,63	Crecimiento Vegetativo	
5ta SEMANA	0,96		
6ta SEMANA	0,66		
7ma SEMANA	0,72		
8va SEMANA	0,89	Floración e Inicio de Tuberización	
9na SEMANA	0,99		
10ma SEMANA	1,42		
11ma SEMANA	1,49	Desarrollo de Tuberculos	
12ma SEMANA	1,45		
13ra SEMANA	1,36		
14ta SEMANA	1,29		
15ta SEMANA	1,44		
16ta SEMANA	1,13	Maduración y Senescencia	
17ma SEMANA	1,13		
18va SEMANA	1,08		
19na SEMANA	1,17		

Fuente: Elaboración propia (2017)

4.5.1. Coeficientes de Cultivo (Kc) Obtenidos para Cada una de las Cinco Etapas Fenológicas

CUADRO 17 Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Etapa de Brotación y Emergencia / Crecimiento Vegetativo

MESES		DÍAS EN CAMPAÑA	KC DIARIO	KC PROMEDIO	ETAPA FENOLOGICA
DICIEMBRE	12	1	0,15	0,16	BROTACIÓN Y EMERGENCIA
	13	2	0,14		
	14	3	0,15		
	15	4	0,14		
	16	5	0,14		
	17	6	0,15		
	18	7	0,14		
	19	8	0,13		
	20	9	0,13		
	21	10	0,14		
	22	11	0,16		
	23	12	0,19		
	24	13	0,17		
	25	14	0,18		
	26	15	0,21		
	27	16	0,14		
	28	17	0,18		
	29	18	0,23		
	30	19	0,23		
	31	20	0,63		
ENERO		21	0,64	0,72	CRECIMIENTO VEGETATIVO
	2	22	0,69		
	3	23	0,74		
	4	24	0,93		
	5	25	0,36		
	6	26	0,50		
	7	27	0,56		
	8	28	0,60		
	9	29	0,68		
	10	30	0,65		
	11	31	0,97		
	12	32	0,93		
	13	33	1,32		
	14	34	0,96		
	15	35	1,18		
	16	36	1,08		
	17	37	0,24		
	18	38	0,78		
	19	39	0,39		
	20	40	0,49		
	21	41	0,98		
	22	42	0,63		
	23	43	0,43		

Fuente: Elaboración propia (2017)

**CUADRO 18 Coeficientes de Cultivo (KC) para la etapa de Floración e Inicio de
Tuberización**

ENERO	24	44	0,45	0,94	FLORACIÓN E INICIO DE TUBERIZACIÓN
	25	45	0,28		
	26	46	0,98		
	27	47	1,14		
	28	48	0,88		
	29	49	0,85		
	30	50	1,29		
	31	51	0,61		
FEBRERO	1	52	0,63		
	2	53	0,70		
	3	54	0,95		
	4	55	1,01		
	5	56	1,02		
	6	57	0,98		
	7	58	0,99		
	8	59	1,00		
	9	60	0,99		
	10	61	0,99		
	11	62	0,97		
	12	63	0,96		
	13	64	1,06		
	14	65	1,40		
	15	66	1,54		

Fuente: Elaboración propia (2017)

CUADRO 19 Coeficientes de Cultivo (kc) para la Etapa de Desarrollo de Tubérculos

FEBRERO	16	67	1,46	1,38	DESARROLLO DE TUBERCULOS
	17	68	1,43		
	18	69	1,59		
	19	70	1,49		
	20	71	1,42		
	21	72	0,85		
	22	73	1,40		
	23	74	1,12		
	24	75	1,54		
	25	76	2,14		
	26	77	1,95		
	27	78	1,27		
	28	79	1,39		
MARZO	1	80	1,81		
	2	81	1,34		
	3	82	1,41		
	4	83	1,46		
	5	84	1,47		
	6	85	1,48		
	7	86	1,33		
	8	87	1,22		
	9	88	1,44		
	10	89	1,67		
	11	90	1,33		
	12	91	1,03		
	13	92	1,51		
	14	93	1,67		
	15	94	0,17		
	16	95	1,38		
	17	96	1,28		
	18	97	1,54		
	19	98	1,48		
	20	99	1,45		
	21	100	1,44		
	22	101	1,51		
	23	102	1,49		
	24	103	1,42		
	25	104	1,40		
	26	105	1,35		
	27	106	1,11		
	28	107	1,06		
	29	108	1,14		
	30	109	1,10		
	31	110	1,19		
ABRIL	1	111	1,15		

Fuente: Elaboración propia (2017)

CUADRO 20 Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Etapa de Maduración y Senescencia

ABRIL	2	112	1,15	1,12	MADURACIÓN Y SENESENCIA
	3	113	1,16		
	4	114	1,14		
	5	115	1,14		
	6	116	1,15		
	7	117	1,12		
	8	118	1,10		
	9	119	1,12		
	10	120	1,10		
	11	121	1,02		
	12	122	1,07		
	13	123	1,07		
	14	124	1,09		
	15	125	1,09		
	16	126	1,11		
	17	127	1,19		
	18	128	1,15		
	19	129	1,16		
	20	130	1,17		

Fuente: Elaboración propia (2017)

Se desprende de los cuadros anteriores que el valor más alto de Consumo de agua (Kc) se encuentra en la Etapa IV (Cuadro 19) denominada Desarrollo de Tubérculos.

4.5.2. Evaluaciones Fitotecnias de la Planta

Las variables referentes a las plantas evaluadas cada 3 días muestran identificación en las etapas fenológicas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única y se muestran en el siguiente cuadro.

CUADRO 21 Evaluación Fitotecnia con una Frecuencia de tres días, e Identificación de Etapas Fenológicas del Cultivo papa (*Solanum tuberosum* L.) Cv. única en condiciones

SEMANAS	FECHA DE EVALUACIÓN	DOS	FASE FENOLÓGICA	NÚMERO DE PLANTAS EVERGIDAS	PROVEDIO/ ALTURA DE PLANTA (cm)	PROVEDIO/ NÚMERO DE TALLOS / PLANTA	NÚMERO DE FLORES / PLANTA	PROVEDIO DE TUBERCULOS / PLANTA	PESO PROVEDIO DE TUBERCULOS / GRAVIDS	RENDIMIENTO /ha
1	12-dic	SIEMBRA	BROTACIÓN Y EMERGENCIA 	-	-	-	-	-	-	-
	15-dic	3		-	-	-	-	-	-	-
	18-dic	6		-	-	-	-	-	-	-
	21-dic	9		-	-	-	-	-	-	-
2	24-dic	12		4	-	-	-	-	-	-
				10	-	-	-	-	-	-
				13	-	-	-	-	-	-
3	27-dic	15		20	5	-	-	-	-	-
	30-dic	18		27	7	-	-	-	-	-
	02-ene	21		-	9	4	-	-	-	-
4	05-ene	24	CRECIMIENTO VEGETATIVO 	-	11	4	-	-	-	-
	08-ene	27		-	17	4	-	-	-	-
	11-ene	30		-	22	4	-	-	-	-
5	14-ene	33		-	25	4	-	-	-	-
	17-ene	36		-	33	4	-	-	-	-
	20-ene	39		-	40	4	-	-	-	-
6	23-ene	42		-	42	4	-	-	-	-
				-	45	4	-	-	-	-
				-	48	4	-	-	-	-
7	26-ene	45	FLORACIÓN E INICIO DE TUBERIZACIÓN 	-	55	-	2	-	-	-
	29-ene	48		-	58	-	2	-	-	-
	01-feb	51		-	63	-	4	-	-	-
8	04-feb	54		-	68	-	4	-	-	-
	07-feb	57		-	72	-	5	-	-	-
	10-feb	60		-	79	-	7	-	-	-
9	13-feb	63		-	83	-	7	-	-	-
	16-feb	66		-	86	-	10	-	-	-
	19-feb	69		-	88	-	10	-	-	-
10	22-feb	72	DESARROLLO DE TUBERCULOS 	-	92	-	10	-	-	-
	25-feb	75		-	-	-	-	-	-	-
	28-feb	78		-	-	-	-	-	-	-
11	03-mar	81		-	-	-	-	-	-	-
	06-mar	84		-	-	-	-	-	-	-
	09-mar	87		-	-	-	-	-	-	-
12	12-mar	90		-	-	-	-	-	-	-
	15-mar	93		-	-	-	-	-	-	-
	18-mar	96		-	-	-	-	-	-	-
13	21-mar	99		-	-	-	-	-	-	-
	24-mar	102		-	-	-	-	-	-	-
	27-mar	105		-	-	-	-	-	-	-
14	30-mar	108		-	-	-	-	-	-	-
	02-abr	111		-	-	-	-	-	-	-
	05-abr	114		-	-	-	-	-	-	-
15	08-abr	117	MADURACIÓN Y SENESCENCIA 	-	-	-	-	-	-	-
	11-abr	120		-	-	-	-	-	-	-
	14-abr	123		-	-	-	-	-	-	-
16	17-abr	126		-	-	-	-	-	-	-
	20-abr	129		-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-
COSECHA			COSECHA 	-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45
				-	-	-	-	10,2	834,62	45

Edafoclimáticas del Distrito de Hunter – Arequipa 2017

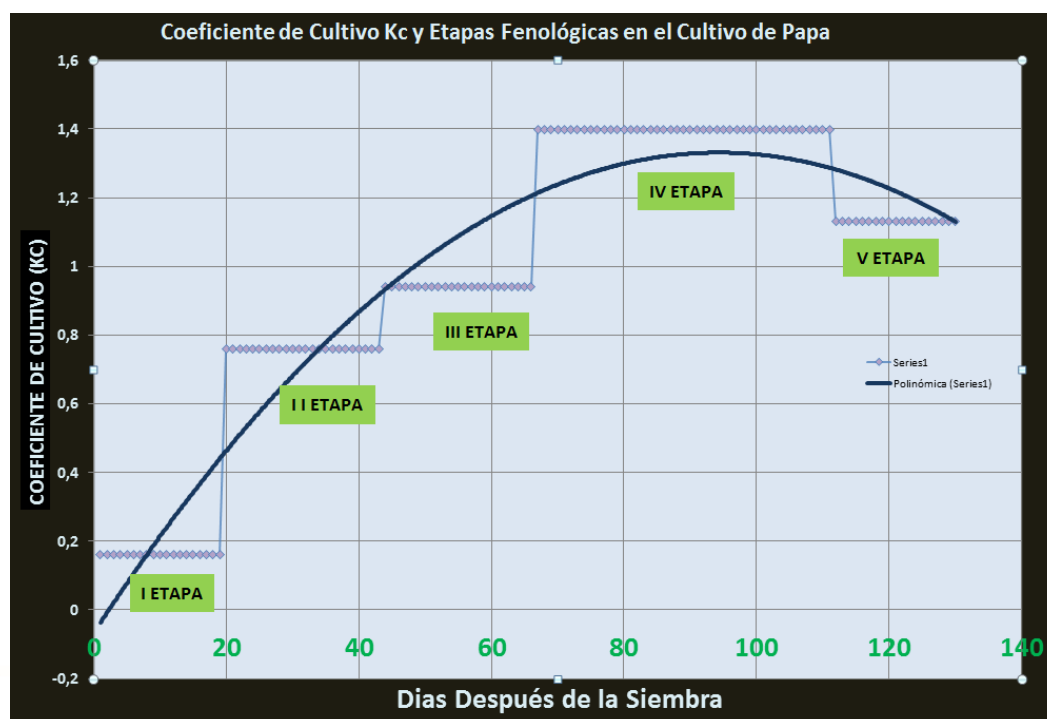
En el cuadro anterior para evaluar la etapa de Brotación y Emergencia de plantas se realizó observaciones en 6 fechas diferentes; lográndose 100% de emergencia a los 19 días después de la siembra, en el caso de la etapa de Crecimiento Vegetativo se evaluó la altura de planta midiendo desde el cuello de la planta hasta el final del tallo principal. Para evaluar el crecimiento de las plantas se realizó las mediciones de altura de diez plantas elegidas al azar y se tomó el promedio de los datos obtenidos y para determinar el Número de Tallos se evaluó contando el número de tallos a diez plantas elegidas al azar y se evaluó con una frecuencia de tres días hasta el término de crecimiento vegetativo, teniendo un promedio de 4 tallos por planta.

También se desprende que para evaluar la etapa Floración e Inicio de Tuberización se tomaron datos cuando el cultivo alcanzó más del 50 % en floración; se identificó en el experimento 10 plantas y se fue contabilizando el número de flores por planta, obteniendo un promedio de 10 inflorescencias por planta al final de esta etapa, en la Tuberización se tomó en cuenta el momento que ocurre el engrosamiento del ápice del estolón es aquí donde inicia el crecimiento del tubérculo una vez concluida esta etapa se da inicio a la Etapa Desarrollo de Tubérculos se inicia a la décima semana después de la siembra teniendo un periodo de duración de 45 días, continuamos con la etapa de Maduración y Senescencia que empieza a los 111 días después de la siembra, en este periodo se comienza a observar un amarillamiento de sus hojas cada vez más intenso, llegando a coloraciones marrones y caída de hojas a su vez los tallos también amarillean y secan. En este punto, la planta murió de forma natural.

Para el Número de Tubérculos / Planta se cosechó diez plantas al azar contando el número de tubérculos por planta, teniendo un promedio de 10.2, posteriormente se procedió con el Peso de Tubérculos (gr) por planta obteniendo un promedio de 834.62 g/planta y el rendimiento fué 45 T/ha.

4.6. Obtención de la curva de coeficiente de cultivo (K_c), por etapas fenológicas de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv única.

GRAFICA 4 Curva del Coeficiente De Cultivo (K_c) en las Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum* L.) Cv. única



CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo condiciones edafoclimáticas del Distrito de Hunter –Arequipa.

En el trabajo de investigación para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única tuvo una duración de 130 días (19 semanas) para lo cual se determinaron 5 etapas fenológicas y un Kc promedio para cada una de estas etapas de desarrollo, obteniendo entre la siembra y la tercera semana un Kc promedio de 0.16, entre la tercera y sexta semana un Kc de 0.72, cuarta y décima semana un Kc de 0.94, décima y dieciseisava un Kc de 1.38, y finalmente entre la décimo sexta y décimo novena semana un Kc de 1.12

Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 (1977) menciona cuatro fases fenológicas, una **fase inicial** (25-30 días) con un kc de 0.45, una **fase de desarrollo** (30-35 días) con kc de 0.75, **fase de media estación** (30-50 días) con kc de 1.15 y **fase de última estación** (20-30 días) con un kc de 0.85.

Realizando un cuadro comparativo de la lámina de riego según coeficiente de cultivo proporcionados por la FAO y con los coeficientes de cultivo determinados por la presente investigación se observa que; según FAO la necesidad hídrica por campaña es de 3710.5 m³ y según la investigación realizada durante la campaña agrícola la necesidad hídrica es de 3845.46 m³

5.2. Diseño, Construcción e Implementación de un Lisímetro de Drenaje Libre.

El lisímetro diseñado e instalado en el fundo La Banda Huasacache es un tanque relleno con suelo del lugar, manteniendo las características edáficas en el cual se desarrolló el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Unica. Este se desarrolló en un periodo de 130 días bajo condiciones propias del lugar, el lisímetro sirvió para medir la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración con evaluaciones contantes y controladas.

Se coincide con lo dicho por Luque (1981), quien señala que los lisímetros consisten esencialmente en unos tanques calibrados algunos de gran capacidad, dentro de las cuales se introduce la muestra de suelo, sobre la cual se desarrolla la cubierta vegetal tipo, como ya se consideró, son instrumentos propios de las estaciones y centros de investigación y experimentación hídrica, edafológica y agrícola. El objetivo de estos aparatos es efectuar el balance de “entradas y salidas de humedad” para luego determinar la fracción correspondiente a la evapotranspiración.

Pacheco y Alonzo, (1995) indican que los lisímetros son equipos que se usan para determinar la evaporación de un suelo desnudo o la evapotranspiración de un determinado cultivo, se debe colocar los horizontes de suelo en la misma disposición natural, permitiendo un adecuado crecimiento radicular.

El objetivo del lisímetro de drenaje libre según los autores mencionados, esencialmente es cumplir la función de un equipo calibrado para poder determinar la evaporación del suelo más la transpiración del cultivo, se tiene que tomar datos diarios sobre la entrada y salida de agua y así obtener datos reales de la evapotranspiración lo cual se hizo en la presente investigación.

5.2.1. Suelo en Capacidad de Campo (Cc)

Capacidad de campo y Punto de marchitez son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo para su óptimo desarrollo. La capacidad de campo (CC) o el porcentaje de humedad disponible del suelo (% de Hd) del lisímetro en la investigación fue de **14.97%** utilizando la fórmula de **Bodman y Mahmud** y de **14.93%** de humedad disponible de las muestras llevadas a estufa a las 24, 48, 72 y 96 horas a 105 grados.

CUADRO 22 Relación Tipo de Suelo (Textura) vs. Retención de Agua (Clases)

Textura	AGUA DEL SUELO (% V) 10cm		
	CAPACIDAD DE CAMPO	Punto de Marchitez Permanente	Agua Disponible
Arenoso	9	2	7
Arenoso Franco	14	4	10
Franco Arenoso	23	9	14
Franco Arcilloso	30	16	14
Arcilloso	38	24	14
Arcilloso Bien estructurado	50	30	20

Fuente: Alfredo Silva

Según el análisis de suelo, nos muestra un suelo franco arenoso con una Capacidad de campo (CC %pv) de 23.43% mientras que el Punto de marchitez fue de **7,12 %**, obteniendo la humedad disponible de **16.31 %** con la diferencia de **CC Y PMP**.

SILVA (1988) refiere en el cuadro anterior la disponibilidad de agua para las plantas según la textura de suelo en relación a la Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente, encontrándose en nuestro suelo con textura franca arenosa una disponibilidad de agua de **16.31 %**, lo cual coincide con lo planteado por SILVA (1988) en cuanto a la relación de textura de suelo y disponibilidad de agua para las plantas.

5.3. Obtención de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum L.*) cv. única.

La evapotranspiración de cultivo es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal.

La evapotranspiración de cultivo en esta investigación con el método de lisímetro de drenaje libre se determinó que a medida que el cultivo va creciendo la ETC aumenta.

CUADRO 23 Promedio Etc por Etapa Fenológica.

Crecimiento Vegetativo	Días Después de la Siembra	Duración / Días por Etapa	ETc PROMEDIO	Evapotranspiración por Etapa m3/ha
Brotación y Emergencia	19	19	0,67	126,66
Crecimiento Vegetativo	43	23	2,41	577,69
Floración e Inicio de Tuberización	66	23	3,3	759,7
Desarrollo de Tubérculo	111	45	3,82	1718,16
Maduración y Senescencia	130	19	3,49	663,25
Evapotranspiracion Real mm				384,55
Evapotranspiracion Real m3/ha				3845,46

Como se muestra en el cuadro anterior la evapotranspiración del cultivo de papa variedad Unica determinado por el método del lisímetro de drenaje libre fue de **384.55 mm**; de **lámina hídrica** ($3845.46 \text{ m}^3/\text{ha}$), siendo las fases de mayor consumo en la etapa de **Desarrollo de tubérculo** con $1718.16 \text{ m}^3/\text{ha}$ y en la fase de **Floración e Inicio de Tuberización** con $759 \text{ m}^3/\text{ha}$, **Maduración y Senescencia** con $663.25 \text{ m}^3/\text{ha}$, donde las plantas alcanzaron los mayores crecimiento de la altura y diámetro de área sombreada.

Según Barreto y Morales en el trabajo de investigación “Comparación de metodologías para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo”, indica que cuanto mayor es la evapotranspiración de cultivo de una zona mayor es la formación de biomasa vegetal en la misma, si existe una limitación en función de la fertilidad del suelo, que podría constituirse en el factor limitante del crecimiento de esta biomasa vegetal, por lo que el trabajo de investigación “Determinación del coeficiente (kc) para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Unica mediante el método del lisímetro de drenaje libre bajo condiciones edafoclimáticas del distrito de Hunter – Arequipa” coincide con lo mencionado por Barreto y Morales ya que la mayor tasa de evapotranspiración de cultivo real se dio en la etapa de **Desarrollo de Tubérculo**, en esta etapa el cultivo se encontraba en su pico de desarrollo.

5.4. Obtención de la evapotranspiración de referencia (ET_o) utilizando el método del tanque evaporímetro tipo clase “A”

En la investigación para obtener los resultados de Evapotranspiración de referencia (ET_o) mm/día durante el desarrollo del cultivo se tomó registros de lecturas diarias a la misma hora de Evaporación (E_o), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (V_v).

Para el cálculo de Evapotranspiración de referencia (ET_o) se consideró un coeficiente de tanque (K_t) según la humedad relativa (HR) y velocidad del viento (V_v)

$$ET_o = k_{\text{tanque}} * E_{\text{pan}}$$

Dónde:

E_{To} = evaporación de referencia (mm día)

k_t = coeficiente de tanque evaporímetro

E_{pan} = evaporación del tanque evaporímetro (mm día)

Para el cálculo del k_t coeficiente de tanque evaporímetro bajo condiciones climáticas del Distrito de Hunter, se obtuvieron distintos valores de k_t debido al cambio de estación en periodo de desarrollo de cultivo, ya que está relacionado directamente con la velocidad de viento y humedad relativa.

En el siguiente cuadro se desprende el promedio k_t por etapa fenológica hallado según la velocidad de viento, humedad relativa y distancia a barlovento. El tanque de evaporación clase “A” usado en la investigación está rodeado de una cubierta verde.

CUADRO 24 Promedio E_{To} por Etapa Fenológica

Crecimiento Vegetativo	Velocidad de viento KM/DIA	HR %	k_t Promedio	E_{To} Promedio
Brotación y Emergencia	268,3	53	0,68	4,2
Crecimiento Vegetativo	216,0	78,12	0,77	3,1
Floración e Inicio de Tuberización	281,7	70,52	0,73	3,6
Desarrollo de Tubérculo	217,0	73,57	0,76	2,6
Maduración y Senescencia	227,4	57,78	0,71	3

Según Estudio FAO Riego y Drenaje 56, indica que la cantidad de agua evaporada durante un periodo corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese periodo, los tanques proporcionan una medida de efecto

integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

Goyal y Gonzáles (1990), manifiesta que el tanque de evaporación Clase “A” integra los factores climáticos en un sólo parámetro que es la evaporación (E_o) directa desde una superficie libre de agua, la cual se puede medir diariamente correlacionándola con la Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}). Por lo tanto en el presente estudio de investigación estos mismos efectos se relacionan en el consumo de agua de un cultivo, por lo que este método fue de gran utilidad para determinar el K_c del cultivo de papa.

Penman – Monteith en el Estudio FAO Riego y Drenaje 56, indican que el registro diario y a una Misma hora de la Evaporación del tanque (E_o) al ser multiplicado por el coeficiente de tanque (K_t) dará como resultado E_{To} diarias. Por consiguiente el coeficiente de tanque (K_t) integra los efectos de la temperatura, viento, insolación y humedad en su evaporación pudiendo variar con el clima de la región, el tipo de tanque y de la colocación del mismo (situada sobre una cubierta verde o sobre barbecho).

5.5. Determinación de los valores del coeficiente del Cultivo (K_c) por etapas fenológicas empleando la evapotranspiración de cultivo (E_{Tc}) y evapotranspiración de referencia (E_{To}). Para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv- Unica.

SERRUTO (1987), dice que “El Coeficiente de cultivo (K_c) se determina de acuerdo a las características del cultivo, el momento de siembra, el ritmo de crecimiento del cultivo y del periodo vegetativo y significa la preparación de una curva de coeficientes para cada cultivo”. Así mismo menciona que el K_c es un factor que indica el grado de desarrollo de un cultivo y está desarrollado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar en la evapotranspiración de determinada zona.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un número adimensional que se obtiene dividiendo E_{Tc} por E_{To} y que se puede utilizar para estimar el consumo diario en los campos de producción con el mismo cultivar y prácticas culturales y creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (YISHAI, 2010).

Para determinar el k_c se utilizó la siguiente fórmula:

$$K_c = E_{Tc} / E_{To}$$

Dónde:

E_{Tc} : Evapotranspiración de cultivo, en mm/día

K_c : Coeficiente de cultivo (adimensional)

E_{To} : Evapotranspiración referencial, en mm/día

5.5.1. Identificación de Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa Var. Única

En el trabajo de investigación se ha determinado cinco etapas fenológicas:

- **Brotación y emergencia:** Aparecen las primeras hojas sobre la superficie y se dio el 50 % de emergencia
- **Crecimiento vegetativo:** Comprende después de la emergencia hasta el 70% – 80% de desarrollo de follaje.
- **Floración e inicio de tuberización:** En esta fase aparecieron los primeros botones florales, y cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento.
- **Desarrollo de tubérculos:** En esta etapa el tubérculo continúa su desarrollo hasta que alcanzan un punto en el cual son el principal vertedero y todos los asimilados son asignados a estos órganos alcanzados su máximo de masa total. En este punto los tubérculos se desprenden fácilmente del estolón y la piel es firme, no removible.
- **Maduración y senescencia:** Debe observarse el cambio de color de la hoja porque hay una relación directa con la maduración del tubérculo. Descubriendo la base de las plantas ver si la piel de la papa está bien adherida y no se desprende; por otro lado la papa está madura cuando al ser presionada con los dedos pierde su cáscara.

Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 (1977) indica cuatro fases fenológicas:

- **Fase inicial** que abarca desde la siembra hasta que el cultivo cubre un 10% del suelo.
- **Fase de desarrollo** comprende desde el 10% de cobertura vegetal hasta la cobertura efectiva del 70% al 80%
- **Fase de media estación** desde la cobertura efectiva a inicio de maduración del cultivo.
- **Fase de última estación** desde el inicio de maduración hasta la cosecha.

EL Centro Internacional de Papa, (1986) Menciona las fases fenológicas del cultivo de la papa, menciona cinco etapas fenológicas: Brotación, emergencia, desarrollo de tallos, tuberización y floración y desarrollo de tubérculos.

Egúsquiza, (2000), presenta una breve descripción de las fases fenológicas más importantes del cultivo de la papa, las cuales son:

- **Fase de Emergencia:** referida a la aparición de las primeras hojas sobre la superficie del suelo.
- **Fase de Inicio de Floración:** durante esta fase aparecen los primeros botones florales (Yzarra, 1999). El pedúnculo floral y la inflorescencia crecen cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento y da inicio a la floración (Egúsquiza, 2000).

En algunas variedades el inicio de la floración coincide con el inicio de la tuberización (Egúsquiza, 2005; Valladolid et. al. 1984; Astorga y Rodríguez, 1982).

- **Fase de Plena Floración:** se inicia con la apertura de los primeros botones florales emitiendo flores. Existen variedades con abundante floración, así como también existen variedades que no florecen (Egúsquiza, 2000).
- **Fase de Tuberización:** esta fase se inicia a partir del engrosamiento de los tubérculos ubicados en los estolones. Se da debido a la asimilación de los azúcares en forma de almidón.

- **Fase de Maduración:** se inicia cuando el follaje de la planta alcanza su máximo desarrollo (Cisneros, 1992). La planta está naturalmente madura cuando la mayor parte de las hojas muestran color amarillento, cuando ha perdido la totalidad de hojas o cuando no muestra follaje verde (Egúsquiza, 2000). La papa está madura cuando al ser presionada con la yema de los dedos no pierde su cáscara (Egúsquiza, 2000; Yzarra, 1999; Sanabria, 2003). La maduración podría estar asociada con el final de la floración (Egúsquiza, 2000)

Senamhi, Manual de observaciones fenológicas (2011) indica 5 etapas fenológicas:

- **Emergencia:** Aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo.
- **Brotes laterales:** los brotes que surgen desde el tallo principal son aéreos y subterráneos. Los primeros dan lugar a la formación de follaje de la planta y los segundos a rizomas, donde posteriormente engrosaran en la porción distal para la formación de tubérculo.
- **Botón Floral:** aparecen los primeros botones florales
- **Floración:** se abren las primeras flores
- **Maduración:** debe observarse el cambio del color de la hoja porque hay una relación directa con la maduración del tubérculo descubriendo la base de las plantas, ver si la piel de la papa está bien adherida y no se desprende; por otro lado la papa está madura cuando al ser presionada con los dedos no pierde sus cascara.

Creceidas, (2018) menciona cinco etapas fenológicas: Brotación, emergencia. Estolonización y tuberización, floración y fructificación, maduración y senescencia.

Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 (1977) determina cuatro etapas fenológicas las cuales a mi punto de vista son muy generales para la utilización de coeficiente de cultivo en riego. Otras fuentes mencionadas anteriormente como CIP, EGÚSQUIZA, SENAMHI, ETc. indican mayor número de etapas fenológicas coincidiendo muchas de ellas con 5 etapas,

por lo que mi trabajo de investigación también coincide con las últimas fuentes mencionadas.

CUADRO 25 Cuadros Comparativos de Diferentes Autores por Etapas Fenológicas del Cultivo de Papa

ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE N° 24	EGUZQUIZA	SENAMHI, MANUAL DE OBSERVACIONES FENOLÓGICAS
FASE INICIAL	FASE DE EMERGENCIA	EMERGENCIA
Que abarca desde la siembra hasta que el cultivo cubre un 10% del suelo	Referida a la aparición de las primeras hojas sobre la superficie del suelo.	Aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo.
FASE DE DESARROLLO	INICIO DE FLORACIÓN	BROTOS LATERALES
Comprende desde el 10% de cobertura efectiva del 70% al 80%	Durante esta fase aparecen los primeros botones florales, la inflorescencia crece cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento y da inicio a la floración	Los brotes dan lugar a la formación de follaje de la planta y los segundos a rizomas, donde posteriormente engrosaran en la porción distal para la formación de tubérculo.
FASE DE MEDIA ESTACIÓN	FASE DE PLENA FLORACIÓN	BOTÓN FLORAL
Desde la cobertura efectiva a inicio de maduración del cultivo	Inicia con la apertura de los primeros botones florales emitiendo flores. Existen variedades con abundante floración, así como también existen variedades que no florecen	Aparecen los primeros botones florales.
FASE DE ÚLTIMA ESTACIÓN	FASE DE MADURACIÓN	MADURACIÓN
Desde el inicio de maduración hasta la cosecha.	Se inicia cuando el follaje de la planta alcanza su máximo desarrollo. La planta está naturalmente madura cuando la mayor parte de las hojas muestran color amarillamiento, cuando ha perdido la totalidad de hojas o cuando no muestra follaje verde. La maduración podría estar asociada con el final de la floración	Debe observarse el cambio del color de la hoja porque hay una relación directa con la maduración del tubérculo descubriendo la base de las plantas, fijarse si la piel de la papa está adherida y no se desprende.

5.5.2. Coeficiente de Cultivo (Kc) por Etapa Fenológica

En el trabajo de investigación “Diseño, construcción e implementación de un lisímetro de drenaje libre para la determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única en condiciones edafoclimáticas del distrito de Hunter, Arequipa. 2017” se han determinado 5 etapas fenológicas con 130 días de duración, **fase de brotación y emergencia** (19 días) con un kc de 0.16, una **fase de crecimiento vegetativo** (23 días) con kc de 0.72, **fase de floración e inicio de tuberización** (23 días) con kc de 0.94, **fase de desarrollo de tubérculo** (45 días) con un kc de 1.38 y una **fase de maduración y senescencia** (19 días) con un kc de 1.12.

Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 (1977) menciona cuatro fases fenológicas, una **fase inicial** (25-30 días) con un kc de 0.45, una **fase de desarrollo** (30-35 días) con kc de 0.75, **fase de media estación** (30-50 días) con kc de 1.15 y **fase de última estación** (20-30 días) con un kc de 0.85

Autodema, (2007) señala cinco etapas fenológicas con 105 días de duración, **fase I** (28 días) con un kc de 0.30, una **fase II** (21 días) con kc de 0.60, **fase III** (21 días) con kc de 1.10, **fase IV** (21 días) con un kc de 1.35 y **fase V** (14 días) con un kc de 1.20

FAO (1977), indican que para poder correlacionar en buena forma la **Evapotranspiración de referencia** (ET_o) con la **Evapotranspiración del Cultivo** (ET_c), es necesario utilizar los coeficientes de cultivos que se tienen para cada uno de ellos según la fase de su periodo vegetativo. Estos coeficientes de cultivo corrigen las distorsiones que se producen durante el crecimiento de las plantas (a mayor desarrollo mayor es la transpiración, porque tiene mayor follaje) y se presenta para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua.

A partir de los resultados obtenidos se desprende que mediante manejo agronómico debemos tener un kc relativamente bajo en la fase de emergencia debido a que en el cultivo de papa se debe manejar una lámina mínima de

riego para evitar la pudrición de la semilla, por lo que el kc obtenido en la investigación realizada es de (0.16).

Realizando un cuadro comparativo de la lámina de riego según coeficiente de cultivo proporcionados por la FAO y con los coeficientes de cultivo determinados por la presente investigación se observa que; según FAO la necesidad hídrica por campaña es de 3710.5 m^3 y según la investigación realizada durante la campaña agrícola la necesidad hídrica es de $3845,46 \text{ m}^3$. Se puede observar que en la etapa de desarrollo de tubérculo es en la que el cultivo requiere de mayor cantidad de agua siendo esta necesidad de 135.46 m^3 la diferencia de consumo hídrico entre FAO y la presente investigación se debe a las condiciones climáticas y manejo agronómico.

5.6. Obtención de la Curva de Coeficiente de Cultivo (Kc), por Etapas Fenológicas de la Variedad de Papa (*Solanum tuberosum* L.) cv Unica.

En la gráfica de coeficiente de cultivo (Kc) se determinó distintos valores durante toda la temporada, dado que las características del cultivo varían durante el periodo de crecimiento, la combinación de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo hacen que el coeficiente de cultivo sea único. En la investigación se obtiene una curva exponencial que se va diferenciando según el desarrollo de cultivo y se observa en la etapa de desarrollo de tubérculo el punto más alto de la curva, este es un indicador que el cultivo ha llegado a su punto máximo de desarrollo.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- ✚ El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única presentó coeficiente de cultivo (Kc) para cinco etapas fenológicas con 130 días de duración, fase de brotación y emergencia (19 días) con un kc de 0.16, una fase de crecimiento vegetativo (23 días) con kc de 0.72, fase de floración e inicio de tuberización (23 días) con kc de 0.94, fase de desarrollo de tubérculo (45 días) con un kc de 1.38 y una fase de maduración y senescencia (19 días) con un kc de 1.12.
- ✚ Se logró construir e instalar un lisímetro de drenaje libre en el centro de investigación fundo La Banda Huasacache, Hunter (Universidad Católica de Santa María), este lisímetro de drenaje libre puede ser utilizado para posteriores estudios para determinar la evapotranspiración del cultivo según las condiciones climáticas del distrito de Hunter-región Arequipa.
- ✚ Se determinó la evapotranspiración del cultivo ETc diaria, con la cual se obtuvo una evapotranspiración por etapa fenológica a lo largo de los 130 días que duró la campaña; en la fase de brotación y emergencia un ETc de 126.66 m³/ha, una fase de crecimiento vegetativo con ETc de 577.69 m³/ha, fase de floración e inicio de tuberización con ETc de 759.7 m³/ha, fase de desarrollo de tubérculo con un ETc de 1718.16 m³/ha y una fase de maduración y senescencia con un ETc de 663.25 m³/ha. Obteniendo un total por campaña de 3845.46 m³/ha de evapotranspiración del cultivo, equivalente a un módulo de riego de 10396.98 m³/ha/año o 0.33/l/s/ha. Este módulo de riego demuestra el uso eficiente del agua con el cálculo de los coeficientes de cultivo (kc).
- ✚ Se calculó la evapotranspiración de referencia (ETo) bajo las condiciones climáticas en el centro de investigación fundo La Banda Huasacache Hunter (Universidad Católica de Santa María) durante el periodo de diciembre a abril, estos datos obtenidos junto con los de evapotranspiración del cultivo fueron utilizados para el cálculo del coeficiente del cultivo Kc antes mencionados.

- La gráfica de coeficiente de cultivo (K_c) mostró una tendencia ascendente desde la emergencia hasta la etapa de desarrollo de cultivo en donde mostró una tendencia horizontal más larga (45 días), concluida esta etapa la curva empieza a descender debido a la maduración y senescencia del cultivo.



CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- ✚ Con base a los resultados de la presente investigación, se recomienda la difusión y aplicación de los coeficientes hídricos del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. única en campos con condiciones similares a donde se realizó el experimento, si se requiere utilizar en otras zonas es necesario realizar estudio de las condiciones climáticas propias del lugar.
- ✚ Cuando no existe la posibilidad de obtener datos por el método de lisímetro de drenaje libre o cualquier otra forma directa en la zona en estudio, los valores de Kc se pueden estimar a partir de la información teórica proporcionada por la FAO Manual 56, pero con ciertas limitaciones.
- ✚ La utilización de lisímetros es importante para determinar los requerimientos hídricos del cultivo, por lo que se recomienda utilizar con fines de programación de riego, definir la eficiencia en el uso y manejo del agua de riego, asegurando la productividad y calidad del cultivo.
- ✚ Realizar este tipo de investigación en distintas épocas del año, distintas variedades y cultivos a fin de obtener coeficientes de cultivo más cercanos a la realidad.
- ✚ Los valores obtenidos de coeficiente de cultivo deben ser perfeccionados utilizando tensiómetros en otros campos del Fundo La Banda Huasacache.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ADEKALU, K; FAPOHUNDA, H.** 2006. A Numerical Model to predict Crop Yield from Soil Water Deficit. *Biosystems Engineering* 94(3): 359–372.
2. **ALEXANDRIS, S; KERKIDES, P; LIAKATAS, A.** 2006. Daily reference evapotranspiration estimates by the Copais"" approach. *Agricultural Water Management* 82: 371–386.
3. **ALLEN, R; PEREIRA, L; RAES, D; SMITH, M.** 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudio Riego y Drenaje, FAO-56. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación. Roma.
4. **ALVAREZ, E.** 2010. Fraccionamiento en dos y tres partes del tubérculo-semilla y tres fuentes cicatrizantes en papa (*Solanum tuberosum*) cv. 'UNICA' con manejo orgánico. Tesis Ingeniero Agrónomo. UNSA. Arequipa, Perú.
5. **ANTON, A; MONTERO, J; MUÑOZ, P,** 1995 Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero-comparación con el cultivo al aire libre. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaria – IRTA, Centre de Cabrils. Barcelona.
6. **AUTODEMA,** 2007. Boletín Técnico, “Consumo de agua por los cultivos”. Gerencia de Gestión de Recursos Hídricos, Arequipa - Majes.
7. **AUTODEMA,** 2009. Proyecto Especial - Gerencia de gestión de recursos hídricos, sub gerencia de promoción y uso eficiente del recurso hídrico.
8. **BARRANTES, JAG.** 1993. Estudio del efecto del déficit hídrico y de la fertilización potásica en algunas características morfo-fisiológicas y en el rendimiento de plantas de papa provenientes de semilla sexual.
9. **BARRETO, L; MORALES, P.** 2017. comparación de metodologías para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo, a partir de diferentes métodos de estimación como una herramienta para la toma de decisiones en la agricultura urbana, en el barrio hierbabuena (Villavicencio, Meta). Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental UST. Bogotá D.C.
10. **BELTRI, E.** 2008. Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja de Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando. pp 78 – 84.

11. **BENITES, C; PÉREZ, A.** 2005 Sistemas Hidráulicos de Riego Diseño y Construcción, Editorial UNAS, Arequipa – Perú
12. **BENLI, B; KODAL, S; ILBEYI, A; USTUN, H.** 2005. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Agricultural Water Management* 81: 358–370.
13. **BERRÚ, J.L.** (2008). Cuantificación del Balance Hídrico en el Cultivo de Maíz Amarillo Duro (*Zea mays* L.), Bajo Riego, Durante la Campaña 2008 en el Valle del Medio Piura. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo UNP. Piura Perú.
14. **BONACHELA, S; ORGAZ, F; VILLALOBOS, F; FERERES, E.** 1999. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. *Irrig Sci* 18: 205–211.
15. **BOULARD, T; WANG, S.** 2000. Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 100: 25–34.
16. **CASANOVA, M; MESSING, I; JOEL, A; CAÑETE, A.** 2009. Métodos de estimación de la evapotranspiración de un cultivo de lechuga en condiciones de invernadero, zona central de Chile. *Chilean J. Agric. Res.* [on line]. 2009, vol.69, n.1, pp. 60-70.
17. **CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP).** (1986). Informe Anual del CIP. CIP, Lima, Perú. 184 p.
18. **CHANG, M; NURUDDIN, A; CROWLEY, C.** 1997. Evapotranspiration of herbaceous mimosa (*Mimosa strigillosa*), a new drought-resistant species in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling* 21: 175–184.
19. **CHAVES, S., MOREIRA DE AZEVEDO, B., DE MEDEIROS, J., LIMA, F., BATISTA, N.** 2005. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. *Revista Ciência Agronômica*, v.36, n.3, p. 262-267. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
20. **CISNEROS, F.** (1992). El manejo integrado de plagas. Guía de Investigación CIP 7. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
21. **CRECEIDEAS.CL, C.** (2018) Papa manual. Obtenido de <http://manualinia.papachile.cl/?page=etapas&etapa=3>
22. **DE SOUZA, A., DE CARVALHO, D., BATISTA, L., DE ALMEIDA, F., SOARES DA ROCHA, H.** 2011. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.3,

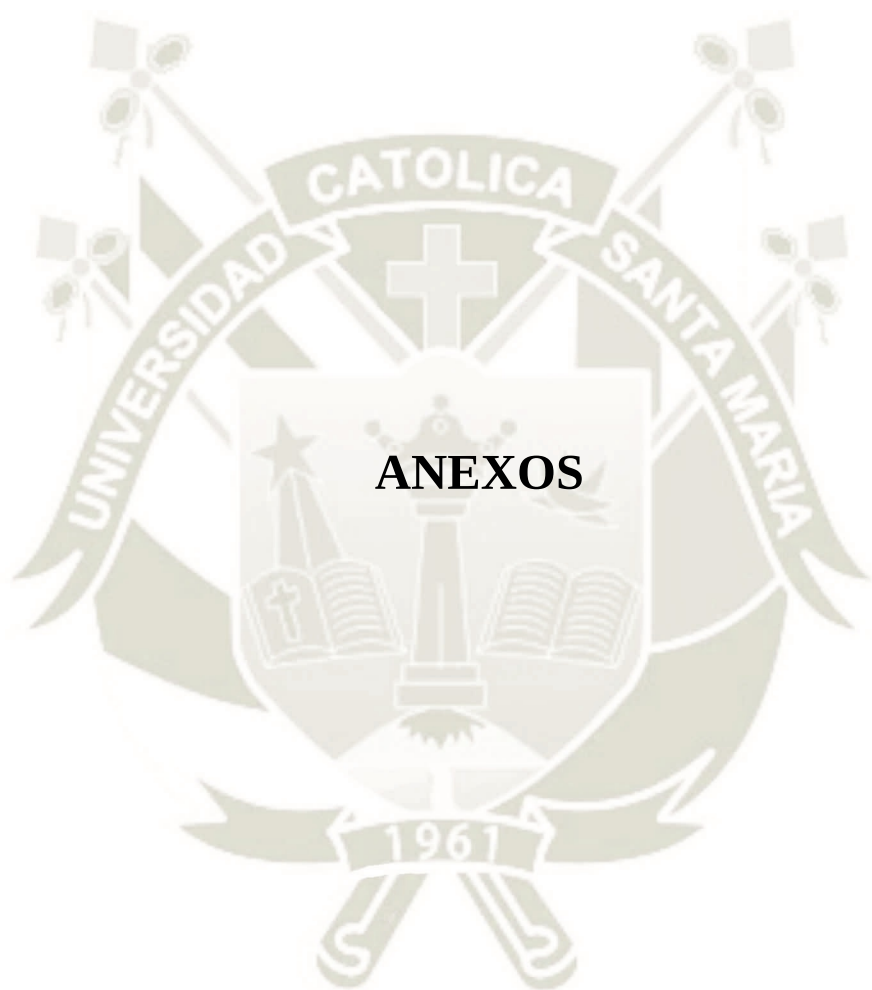
- p.219-228. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.
23. **DELMHORST, J.** 1999. Manual de funcionamiento de los bloques de modelo KS-D1. www.delmhorst.com
24. **DIAZ, G.** 2011. Determinación del coeficientes de cultivo (kc) en las etapas fenológicas en el cultivo de arveja (*pisum sativum* l. ssp. var. *sativum*) en la Irrigación Majes. Tesis para optar el título de Ingeniero agrónomo. UCSM. Arequipa - 2011.
25. **DONOSO, C.** 1981. Ecología Forestal El bosque y su Medioambiente. Chile. UNIVERSITARIA. 369 p.
26. **DOOREMBOS J. PRUITT W. O.** 1977. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24 Roma.
27. **DROOGERS, P.** 2000. Estimando la evapotranspiración del cultivo usando un modelo agro-hidrológico detallado. Journal of Hydrology 229: 50-58.
28. **EGÚSQUIZA, R.** (2000). La papa: producción, transformación y comercialización. UNALM-ADEX. Lima, Perú.
29. **EKANAYAKE, I.** 1994. CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Lima - Perú.
30. **ENCISO, E.** 2005. Sensores de Humedad del Riego para efficientizar el riego. Cooperativa de Texas. pp 2 – 6.
31. **FAO** (Food and Agriculture Organization for the United Nations, IT). s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica (en línea). 28 p. Consultado en mayo del 2018. Disponible en http://www.FAO.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-
32. **FAO**, 1977 Serie Riego y Drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Tomo 24.
33. **FAO**, 1997. Cultivos Andinos Subexplotados y su aporte a la Alimentación. FAO, Oficina Regional, Santiago de Chile.cip
34. **FAO**, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación delos requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56. Roma.
35. **FAO**, 2014. Crop Water Information: Potato. Consultado 07 may. 2018. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_potato.html

36. **FAO.** 2008. El cambio climático y la producción de alimentos.
37. **FAO.** Serie Riego y Drenaje. Tomo 56. Usando la ecuación de Penman – Monteith – Evapotranspiración de Referencia. Pag 17-28.
38. **FUCHS, M; DAYAN, D; PRESNOV, E.** 2006. Evaporative cooling of a ventilated greenhouse rose crop. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 203–215.
39. **FUENTES R.C.** 1997. Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
40. **GABOUKHALED, A.** 1986. Los lisímetros. Estudio FAO de riego y drenaje. Roma, Italia
41. **GARCÍA C.I., y BRIONES S.G.** (1997). Sistemas De Riego Por Aspersión Y Goteo. Editorial Trillas México.
42. **GARCÍA, M; RAES, D; JACOBSEN, S.** 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60: 119–134.
43. **GOYAL M.R., y GONZÁLEZ F.E.** (1990). Manejo de Riego por Goteo. Mayagüez Puerto Rico.
44. **GUROVICH, I.** (1985). "Fundamentos y diseño de sistemas de riego". Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José de Costa Rica.
45. **HARGREAVES, G. y MERKLEY, G.** 2000. Fundamentos del riego. Water resources publications, Centro internacional de riego. Utha EUA.
46. **HIDALGO, D.** 2008. Diseño, evaluación e instalación de un sistema de riego. Lima – Perú. pp 15 – 21.
47. **HURTADO, L.** 2002. Fundamentos del riego: documento electrónico. Disponible en: http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf 58. Consultado 07 may. 2018.
48. **INIAP.** 2014. Las papas nativas y su importancia en la salud y la alimentación. Consultado en mayo del 2018. Disponible en http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=658:las-papas-nativas-y-su-importancia-en-la-salud-y-la-alimentacion&catid=97&Itemid=208
49. **IRMAK, S; HAMAN, D.** 2003. Evapotranspiración: Potencial o Referencia. Universidad de Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE25600.pdf> ..
50. **ISRAELSEN H.J.** (1985). Principios y Aplicaciones del Riego. Segunda Edición. Editorial Reverté Barcelona España.

51. **JENSEN, M; BURMAN, R; ALLEN, R.** 1990. Evapotranspiración y requisitos de agua de riego. Manuales e informes sobre la práctica de ingeniería No. 70. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles - ASCE. Nueva York.
52. **KARAM, F; BREIDY, J; STEPHAN, C; ROUPHAEL, J.** 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management* 63: 125–137.
53. **KARAM, F; LAHOUD, R; MASAAD, R; KABALAN, R; CHALITA, C; ROUPHAEL, Y.** 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural water management* 90: 213- 223.
54. **Lescano, J.L.** 1994. Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos. Convenio INADE/PELT-COTESU. Puno. Perú
55. **LOOS, C; GAYLER, S; PRIESACK, E.** 2007. Assessment of water balance simulations for large- scale weighing lysimeters. *Journal of Hydrology* 335: 259–270.
56. **LOPEZ- URREA, R; MARTÍN, F; FABEIRO, C; MORATALLA, A.** 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural water management* 85: 15-26.
57. **LUQUE, A.J.** 1981. Hidrología agrícola aplicada. Hemisferio sur. S. A. Buenos Aires, argentina. p. 323
58. **MAHDIAN, M.H. Y J. GALLICHAND.** (1996). Modelando el contenido de agua del suelo y la presión de cabeza con SWACROP en campos de papa. *Ingeniería agrícola canadiense* 38 (1): 1-11.
59. **MEDEIROS, G., BUSSMEYER, F., SAKAI, E.** 2004. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n. 4, p. 513-519, Maringá, PA, Brasil.
60. **MEDINA, A.** (1995). Fisiología del cultivo de la papa. Curso: Cultivo de la papa en la irrigación Majes. Arequipa, Perú.
61. **MINAG.** 2014. Papa. Consultado 07 may. 2018. Disponible es <http://www.minag.gob.pe/portal!sector-agrario/agricola/cultivos-deimportancianacional/papa>

62. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO [MINAGRI].** (2017). Series históricas de Producción Agrícola-Compendio Estadístico. Papa-Rendimiento. Recuperado de <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=salida>
63. **MONSALVE, G.** (1999), “Hidrología de la Ingeniería”, 2º edición. Edit. Alfa y Omega, Escuela de Colombia.
64. **OLIVERA C.K.** (2009). Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Alcachofa Imperial Star. por el Método de Lisímetros de Drenaje en la Irrigación Majes – Arequipa. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola UNA. Puno - Perú.
65. **PACHECO, J. Y ALONSO, N.** 1995. Riego y Drenaje. 3ª Ed., “S.I.”, Editorial Pueblo y Educación, 414 p.
66. **PÉREZ F.A.** (2005). Manual de Riego Por Goteo, AUTODEMA. Arequipa Perú.
67. **QUIROZ,** (2010). Cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) por tubérculos semilla y brotes bajo fertilización potásica sobre rendimiento comercial de cv. 'UNICA' en zona árida. Tesis Ing. Agrónomo. UNSA. Arequipa, Perú.
68. **SÁNCHEZ, M.I.** 1992.- métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Tecnicos Sociedad Española de Geomorfología, n° 3,36 pp.
69. **SCHILLING, K; KINIRY, J.** 2007. Estimation of evapotranspiration by reed canarygrass using field observations and model simulations. Journal of Hydrology 337: 356– 363.
70. **SENAMHI.** Manual de observaciones fenológicas. (2011)
71. **SEPASKHAH, A; ILAMPOUR, S.** 1995. Efectos de la tensión de la humedad del suelo en la partición de Evapotranspiración. Gestión del agua agrícola 28: 31 I-323.
72. **SERRUTO, C. R.** 1987. “Riegos y Drenajes” Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias. Puno, Perú. p. 50 – 58.
73. **SIERRA, C ; ROJAS, J y KALAZICH, J.** 2002. Manual de fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Estación Experimental Remehue. Boletín N° 76.
74. **SILVA, A.** 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de investigación N° 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.
75. **SIMPFENDOER, E.** 2000. Efecto del Riego en el cultivo de papa. Especial del riego y drenaje. INIA (34). pp 35 – 38.

76. **STANGHELLINI, C.** 1993. Evapotranspiration in greenhouses with special reference to mediterranean conditions. *Acta Hort. (ISHS)* 335:295-304.
77. **STEFANO, C; FERRO, V.** 1997. Estimación de la evapotranspiración mediante la fórmula de Hargreaves y datos obtenidos por teledetección en áreas mediterráneas semiáridas. *J. Agric. Engng Res* 68: 189- 199.
78. **TAVARES, S.** (2002). Tuberización. *Boletín de la Papa - Vol. 5, N° 7. REDEPAPA-CORPOICA.* Colombia.
79. **TRAMBOUZE, W; BERTUZZI, P; VOLTZ, M.** 1998. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology* 91: 193-208.
80. **TRIGO R.R.** (1992). Evapotranspiración del cultivo de papa en condiciones de campo y su respuesta a la sequía en el Altiplano Central. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo UMSA - Habana.
- VÁSQUEZ V.A.** (2000). El Riego. Universidad Agraria la Molina, Lima – Perú.
81. **VÁSQUEZ, V. e IGLESIAS L.** 2000. Pautas para una programación del riego. *Boletín técnico ICIA* 7 pp 69-77.
82. **VILLALOBOS, F; TESTI, L; RIZZALLI, R; ORGAZ, F.** 2003. Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated garlic (*Allium sativum* L.) in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* 64: 233–249.
83. **VILLA-NOVA, N; PEREIRA, A; SHOCK, C.** 2007. Estimation of Reference Evapotranspiration by an Energy Balance Approach. *Biosystems Engineering* 96: 605–615.
84. **WEN-JIN, Y; RYO, K; LIAN-HUA, L; HIROKAZU, F.** 2010. A computer program for automatic watering based on potential evapotranspiration by penman method and predicted leaf area in miniature pot rose production. *Agricultural Sciences in China.* 9(3): 370-377.
85. **YISHAI, N.** 2010. A model for irrigation of vineyards under limited water availability. Thesis submitted for the degree Doctor of philosophy. Hebrew University of Jerusalem. Israel
86. **YUNUSA, I; WALKER, R; LU, R.** 2004. Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlysimetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia.
87. **ZAVALETA. G. A.** 1992; Edafología, el suelo en reacción con el suelo, Ediciones Condyltec Lima - Perú. 223 pp.



ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de Fertilidad y Caracterización de Suelo en Estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL
N° 921 - Cusco - Perú
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- RECTORADO
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- CIUDAD UNIVERSITARIA
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- LOCAL CENTRAL
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- MUSEO INKA
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y ABONOS (CISA)
LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS

TIPO DE ANALISIS : FERTILIDAD, CARACTERIZACION Y OTROS ANALISIS

PROCEDENCIA MUESTRAS : UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA – AREQUIPA, ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AGRONOMICA Y AGRICOLA

INSTITUCION SOLICITANTE : BACH. DIANA S. DELGADO REYNOSO.

ANALISIS DE FERTILIDAD :

Nº	CLAVE	mmhos/cm C.E.	pH	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M-01	0.90	8.30	2.68	0.13	107.3	87

ANALISIS DE CARACTERIZACION :

Nº	CLAVE	meq/100 C.I.C.	meq/100 Al+++	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	M-01	8.95	-.-	65	22	13	FRANCO-ARENOSO

OTROS ANALISIS :

Nº	CLAVE	% H.E.	% C.C.	g/c.c Da	g/c.c. Dr	% PMP	% POROSIDAD
01	M-01	16.41	17.11	1.57	2.58	7.11	39.14

CUSCO - Arequipa, 18 DE NOVIEMBRE DEL 2,016.

 J F E E

 FAUSTO YAPURA CONDORI
ANALISTA EN SUELOS, AGUAS Y PLANTAS

ANEXO 2 Coeficiente de Cultivo Kc

Fecha	Fases en el periodo vegetativo		Hora de Riego	Evaporación mm	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	ETo mm/día Evap x Kt	Kc Teorico	PRECIPITACIÓN (Pp) mm/día	PRECIPITACIÓN (Pp) lt/m2 Pp*Area Usimetro (4,5)	TEORICO ETC mm/día ETo x Kc	Volumen de Entrada (litros) (ETc - Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)	KC EXPERIMENTAL	KC EXPERIMENTAL CON 5 ETAPAS FENOLOGICAS	KC CON ETAPAS DE FAO	KC CON ETAPAS DE AUTODEMA	
				7.5																		
12/12/2016	FASE INICIAL		7:00	8.1	36	3	259.2	0.6	4.5	0.45	0	0	2.03	3.0	0	3	0.67	0.15	0.1632	brotación y emergencia 19	0.31	
13/12/2016			7:00	7.2	37	3	259.2	0.6	4.86	0.45	0	0	2.19	3.0	0	3	0.67	0.14				
14/12/2016			7:00	6.4	35	4	345.6	0.6	4.32	0.45	0	0	1.94	3.0	0	3	0.67	0.15				
15/12/2016			7:00	6.6	42	2	172.8	0.75	4.8	0.45	0	0	2.16	3.0	0	3	0.67	0.14				
16/12/2016			7:00	6.5	45	3	259.2	0.7	4.62	0.45	0	0	2.08	3.0	0	3	0.67	0.14				
17/12/2016			7:00	6.7	52	3	259.2	0.7	4.55	0.45	0	0	2.05	3.0	0	3	0.67	0.15				
18/12/2016			7:00	7.1	51	3	259.2	0.7	4.69	0.45	0	0	2.11	3.0	0	3	0.67	0.14				
19/12/2016			7:00	7.2	51	4	345.6	0.7	4.97	0.45	0	0	2.24	3.0	0	3	0.67	0.13				
20/12/2016			7:00	6.8	48	3	259.2	0.7	5.04	0.45	0	0	2.27	3.0	0	3	0.67	0.13				
21/12/2016			7:00	6.1	47	3	259.2	0.7	4.76	0.45	0	0	2.14	3.0	0	3	0.67	0.14				
22/12/2016			7:00	5	57	3	259.2	0.7	4.27	0.45	0	0	1.92	3.0	0	3	0.67	0.16				
23/12/2016			7:00	5.7	64	3	259.2	0.7	3.5	0.45	0	0	1.58	3.0	0	3	0.67	0.19				
24/12/2016			7:00	5.4	57	4	345.6	0.7	3.99	0.45	0	0	1.80	3.0	0	3	0.67	0.17				
25/12/2016			7:00	4.6	60	3	259.2	0.7	3.78	0.45	0	0	1.70	3.0	0	3	0.67	0.18				
26/12/2016			7:00	6.6	64	3	259.2	0.7	3.22	0.45	0	0	1.45	3.0	0	3	0.67	0.21				
27/12/2016			7:00	5.2	63	3	259.2	0.7	4.62	0.45	0	0	2.08	3.0	0	3	0.67	0.14				
28/12/2016			7:00	4.2	58	3	259.2	0.7	3.64	0.45	0	0	1.64	3.0	0	3	0.67	0.18				
29/12/2016			7:00	4.1	70	3	259.2	0.7	2.94	0.45	0	0	1.32	3.0	0	3	0.67	0.23				
30/12/2016			7:00	5	70	3	259.2	0.7	2.87	0.45	0	0	1.29	3.0	0.0	3.00	0.67	0.23				
31/12/2016			7:00	4.5	67	3	259.2	0.7	3.5	0.45	0	0	1.58	10.9	1.0	9.88	2.19	0.63				
01/01/2017			7:00	3.5	73	3	259.2	0.75	3.375	0.45	0	0	1.52	10.6	0.8	9.79	2.18	0.64				
02/01/2017			7:00	3.8	74	3	259.2	0.75	2.625	0.45	0	0	1.18	8.9	0.7	8.21	1.82	0.69				
03/01/2017			7:00	6.2	69	3	259.2	0.7	2.66	0.45	0	0	1.20	9.0	0.1	8.89	1.97	0.74				
04/01/2017			7:00	2.9	69	3	259.2	0.7	4.34	0.45	4.2	18.9	1.95	18.9	0.7	18.20	4.04	0.93				
05/01/2017			7:00	3.5	79	2	172.8	0.85	2.465	0.45	2	9	1.11	9.0	5.0	4.00	0.89	0.36				
06/01/2017			7:00	5.4	82	3	259.2	0.75	2.625	0.45	0	0	1.18	8.9	3.0	5.91	1.31	0.50				
07/01/2017			7:00	6.7	64	3	259.2	0.7	3.78	0.45	0	0	1.70	11.5	2.0	9.51	2.11	0.56				
08/01/2017			7:00	3.3	55	3	259.2	0.7	4.69	0.45	0	0	2.11	13.6	0.8	12.75	2.83	0.60				
09/01/2017			7:00	3.4	66	3	259.2	0.7	2.31	0.45	0.1	0.45	1.04	7.7	0.6	7.10	1.58	0.68				
10/01/2017			7:00	5.7	81	1	86.4	0.85	2.89	0.45	0.1	0.45	1.30	9.0	0.5	8.50	1.89	0.65				
11/01/2017			FASE DE DESARROLLO		7:00	3.9	80	3	259.2	0.75	4.275	0.75	0.02	0.09	3.21	18.9	0.3	18.63	4.14		0.97	
12/01/2017	7:00	3.2			77	3	259.2	0.75	2.925	0.75	0.2	0.9	2.19	13.0	0.7	12.27	2.73	0.93				
13/01/2017	7:00	2.9			76	2	172.8	0.85	2.72	0.75	3.6	16.2	2.04	16.2	0.1	16.10	3.58	1.32				
14/01/2017	7:00	5.6			84	4	345.6	0.75	2.175	0.75	3.2	14.4	1.63	14.4	5.0	9.40	2.09	0.96				
15/01/2017	7:00	6.3			89	1	86.4	0.85	4.76	0.75	6.3	28.35	3.57	28.4	3.0	25.35	5.63	1.18				
16/01/2017	7:00	2.7			90	2	172.8	0.85	5.355	0.75	6.9	31.05	4.02	31.1	5.0	26.05	5.79	1.08				
17/01/2017	7:00	2.2			83	2	172.8	0.85	2.295	0.75	0.9	4.05	1.72	7.1	9.6	2.49	0.55	0.24				
18/01/2017	7:00	3.5			82	3	259.2	0.75	1.65	0.75	1.6	7.2	1.24	1.2	7.0	5.81	1.29	0.78				
19/01/2017	7:00	2.3			88	1	86.4	0.85	2.975	0.75	2.6	11.7	2.23	11.7	6.5	5.20	1.16	0.39				
20/01/2017	7:00	4			86	2	172.8	0.85	1.955	0.75	0.4	1.8	1.47	8.3	4.0	4.33	0.96	0.49				
21/01/2017	7:00	3.8			83	3	259.2	0.75	3	0.75	3.8	17.1	2.25	17.1	3.9	13.25	2.94	0.98				
22/01/2017	7:00	5.6			91	2	172.8	0.85	3.23	0.75	3.2	14.4	2.42	14.4	5.3	9.10	2.02	0.63				
23/01/2017	7:00	3.8			87	2	172.8	0.85	4.76	0.75	4.5	20.25	3.57	20.3	11.0	9.25	2.06	0.43				
24/01/2017	7:00	6.2			80	4	345.6	0.75	2.85	0.75	1.8	8.1	2.14	4.7	10.5	5.81	1.29	0.45				
25/01/2017	7:00	3.4			83	3	259.2	0.75	4.65	0.75	4.2	18.9	3.49	18.9	13.0	5.90	1.31	0.28				
26/01/2017	7:00	3.3			86	3	259.2	0.75	2.55	0.75	3.6	16.2	1.91	16.2	5.0	11.20	2.49	0.98				
27/01/2017	7:00	5.2			84	3	259.2	0.75	2.475	0.75	3.5	15.75	1.86	15.8	3.1	12.65	2.81	1.14				
28/01/2017	7:00	6.2			81	3	259.2	0.75	3.9	0.75	0.1	0.45	2.93	17.1	1.6	15.53	3.45	0.88				
29/01/2017	7:00	5.6			77	3	259.2	0.75	4.65	0.75	0.3	1.35	3.49	18.9	1.1	17.81	3.96	0.85				
30/01/2017	7:00	7.2			81	3	259.2	0.75	4.2	0.75	6.2	27.9	3.15	27.9	3.6	24.30	5.40	1.29				
31/01/2017	7:00	6.2			73	4	345.6	0.75	5.4	0.75	0.1	0.45	4.05	22.8	8.0	14.75	3.28	0.61				
01/02/2017	7:00	4.7			68	4	345.6	0.7	4.34	0.75	0	0	3.26	19.3	7.0	12.28	2.73	0.63				
02/02/2017	7:00	5.3			67	3	259.2	0.7	3.29	0.75	0	0	2.47	15.3	5.0	10.34	2.30	0.70				
03/02/2017	7:00	5.1			66	3	259.2	0.7	3.71	0.75	0	0	2.78	16.9	1.0	15.91	3.54	0.95				
04/02/2017	7:00	4.8			62	4	345.6	0.7	3.57	0.75	0	0	2.68	16.4	0.2	16.24	3.61	1.01				
05/02/2017	7:00	6.2			63	4	345.6	0.7	3.36	0.75	0	0	2.52	15.6	0.1	15.47	3.44	1.02				
06/02/2017	7:00	6			54	3	259.2	0.7	4.34	0.75	0	0	3.26	19.3	0.1	19.22	4.27	0.98				
07/02/2017	7:00	4.2			54	3	259.2	0.7	4.2	0.75	0	0	3.15	18.8	0.1	18.65	4.14	0.99				
08/02/2017	7:00	5.7			55	3	259.2	0.7	2.94	0.75	0.1	0.45	2.21	13.5	0.3	13.23	2.94	1.00				
09/02/2017	7:00	5.5			58	3	259.2	0.7	3.99	0.75	0	0	2.99	18.0	0.1	17.86	3.97	0.99				
10/02/2017	7:00	5.5			63	3	259.2	0.7	3.85	0.75	0	0	2.89	17.4	0.2	17.24	3.83	0.99				
11/02/2017	7:00	5.4	73	4	345.6	0.75	4.125	0.75	0	0	3.09	18.5	0.4	18.07	4.02	0.97						
12/02/2017	7:00	2.8	67	4	345.6	0.7	3.78	0.75	0	0	2.84	17.2	0.8	16.38	3.64	0.96						
13/02/2017	7:00	3.5	76	3	259.2	0.75	2.1	0.75	0	0	1.58	10.9	0.9	9.98	2.22	1.06						
14/02/2017	FASE DE MEDIA ESTACIÓN		7:00	2.8	79	3	259.2	0.75	2.625	1.15	0.1	0.45	3.02	17.6	1.0	16.59	3.69	1.40	1.38	TUBERCULOS 45 DESARROLLO DE	1.42	
15/02/2017			7:00	5	72	2	172.8	0.85	2.38	1.15	0	0	2.74	16.7	0.2	16.49	3.66	1.54				
16/02/2017			7:00	3.6	65	5	432	0.7	3.5	1.15	0	0	4.03	23.1	0.1	23.03	5.12	1.46				
17/02/2017			7:00	2.7	82	1	86.4	0.85	3.06	1.15	0.1	0.45	3.52	20.1	0.4	19.70	4.38	1.43				
18/02/2017			7:00	4	73	1	86.4															

Fecha	Fases en el periodo vegetativo	Hora de Riego	Evaporación mm	HR %	Vv m/s	Vv km/día	Kt Coef. Tanque	ETo mm/día Evap x Kt	Kc Teorico	PRECIPITACIÓN (Pp) mm/día	PRECIPITACIÓN (Pp) lt/m2 Pp*Area Lisimetro [4,5]	TEORICO ETC mm/día ETo x Kc	Volumen de Entrada (litros) (ETc - Pp)*area	Volumen de salida (litros)	VE-VS (LT)	ETC VE-VS (mm)	KC EXPERIMENTAL	KC EXPERIMENTAL CON 5 ETAPAS FENOLOGICAS	KC CON ETAPAS DE FAO	KC CON ETAPAS DE AUTODEMA
24/02/2017		7:00	3.6	76	3	259.2	0.75	1.425	1.15	2.7	12.15	1.64	12.2	2.3	9.85	2.19	1.54			11-13 SEM
25/02/2017		7:00	3.2	81	2	172.8	0.75	2.7	1.15	6.1	27.45	3.11	27.5	1.5	25.95	5.77	2.14			
26/02/2017		7:00	2.3	85	1	86.4	0.85	2.72	1.15	5.3	23.85	3.13	28.9	5.0	23.85	5.30	1.95			
27/02/2017		7:00	5.6	92	1	86.4	0.85	1.955	1.15	3.6	16.2	2.25	16.2	5.0	11.20	2.49	1.27			
28/02/2017		7:00	4.1	80	2	172.8	0.85	4.76	1.15	0.01	0.045	5.47	30.3	0.5	29.82	6.63	1.39			
01/03/2017		7:00	5.3	77	3	259.2	0.75	3.075	1.15	6.5	29.25	3.54	29.3	4.2	25.05	5.57	1.81			
02/03/2017		7:00	4.8	67	3	259.2	0.7	3.71	1.15	0	0	4.27	24.3	2.0	22.33	4.96	1.34			
03/03/2017		7:00	4.5	63	4	345.6	0.7	3.36	1.15	0	0	3.86	22.3	1.0	21.37	4.75	1.41			
04/03/2017		7:00	4.6	66	3	259.2	0.7	3.15	1.15	0	0	3.62	21.1	0.4	20.76	4.61	1.46			
05/03/2017		7:00	4.2	66	3	259.2	0.7	3.22	1.15	0	0	3.70	21.5	0.2	21.35	4.74	1.47			
06/03/2017		7:00	4.9	61	2	172.8	0.75	3.15	1.15	0	0	3.62	21.1	0.1	21.01	4.67	1.48			
07/03/2017		7:00	2.5	63	2	172.8	0.75	3.675	1.15	0.1	0.45	4.23	23.6	1.6	22.03	4.90	1.33			
08/03/2017		7:00	3.6	76	3	259.2	0.75	1.875	1.15	2.8	12.6	2.16	12.6	2.3	10.30	2.29	1.22			
09/03/2017		7:00	1.9	87	2	172.8	0.85	3.06	1.15	0.1	0.45	3.52	20.1	0.2	19.90	4.42	1.44			
10/03/2017		7:00	1.7	92	1	86.4	0.85	1.615	1.15	2.7	12.15	1.86	12.2	0.0	12.15	2.70	1.67			
11/03/2017		7:00	3	82	1	86.4	0.85	1.445	1.15	2.1	9.45	1.66	9.5	0.8	8.65	1.92	1.33			1.36
12/03/2017		7:00	2.7	77	3	259.2	0.75	2.25	1.15	0.1	0.45	2.59	15.4	5	10.44	2.32	1.03			
13/03/2017		7:00	4.6	79	3	259.2	0.75	2.025	1.15	3.5	15.75	2.33	15.8	2	13.75	3.06	1.51			
14/03/2017		7:00	0.9	80	3	259.2	0.75	3.45	1.15	6	27	3.97	27.0	1	26.00	5.78	1.67			
15/03/2017		7:00	2.8	92	2	172.8	0.85	0.765	1.15	1.2	5.4	0.88	1.4	0.8	0.60	0.13	0.17			
16/03/2017		7:00	4.8	83	3	259.2	0.75	2.1	1.15	0	0	2.42	15.1	2	13.08	2.91	1.38			14-15 SEM
17/03/2017		7:00	2.9	69	4	345.6	0.7	3.36	1.15	0	0	3.86	22.3	3	19.32	4.29	1.28			
18/03/2017		7:00	3.7	74	3	259.2	0.75	2.175	1.15	0	0	2.50	15.5	0.4	15.11	3.36	1.54			
19/03/2017		7:00	3.5	75	3	259.2	0.75	2.775	1.15	0	0	3.19	19.0	0.5	18.46	4.10	1.48			
20/03/2017		7:00	3.9	74	3	259.2	0.75	2.625	1.15	0	0	3.02	18.1	1	17.09	3.80	1.45			
21/03/2017		7:00	3.5	74	2	172.8	0.75	2.925	1.15	0	0	3.36	19.8	0.8	19.02	4.23	1.44			
22/03/2017		7:00	4.5	65	2	172.8	0.75	2.625	1.15	0	0	3.02	18.1	0.2	17.89	3.98	1.51			
23/03/2017		7:00	4.5	79	1	86.4	0.85	3.825	1.15	5.9	26.55	4.40	26.6	0.9	25.65	5.70	1.49			
24/03/2017		7:00	2.6	65	3	259.2	0.7	3.15	1.15	0	0	3.62	21.1	1	20.11	4.47	1.42			
25/03/2017		7:00	4.7	67	3	259.2	0.7	1.82	1.15	0	0	2.09	13.5	2	11.47	2.55	1.40			
26/03/2017		7:00	3.1	60	3	259.2	0.7	3.29	1.15	0	0	3.78	21.9	2	19.92	4.43	1.35			
27/03/2017	FASE DE ULTIMA ESTACION	7:00	3.1	66	2	172.8	0.75	2.325	0.85	0.1	0.45	1.98	12.4	0.8	11.58	2.57	1.11	1.12	MADURACION Y SENEENCIA 19	
28/03/2017		7:00	2.6	72	2	172.8	0.75	2.325	0.85	0.2	0.9	1.98	11.9	0.8	11.08	2.46	1.06			
29/03/2017		7:00	4.1	70	3	259.2	0.7	1.82	0.85	0.1	0.45	1.55	10.2	0.9	9.34	2.07	1.14			
30/03/2017		7:00	3.4	69	3	259.2	0.7	2.87	0.85	0.1	0.45	2.44	14.7	0.5	14.20	3.16	1.10			
31/03/2017		7:00	3.9	71	3	259.2	0.75	2.55	0.85	0	0	2.17	13.8	0.2	13.64	3.03	1.19			
01/04/2017		7:00	4.1	63	2	172.8	0.75	2.925	0.85	0	0	2.49	15.4	0.3	15.13	3.36	1.15			
02/04/2017		7:00	4.4	65	2	172.8	0.75	3.075	0.85	0	0	2.61	16.1	0.1	15.97	3.55	1.15			
03/04/2017		7:00	4.7	64	3	259.2	0.7	3.08	0.85	0	0	2.62	16.1	0	16.09	3.58	1.16			
04/04/2017		7:00	4.7	59	3	259.2	0.7	3.29	0.85	0	0	2.80	17.0	0.1	16.88	3.75	1.14			
05/04/2017		7:00	4.1	53	3	259.2	0.7	3.29	0.85	0	0	2.80	17.0	0.1	16.88	3.75	1.14			
06/04/2017		7:00	4.3	62	2	172.8	0.75	3.075	0.85	0	0	2.61	16.1	0.2	15.87	3.53	1.15			
07/04/2017		7:00	4.2	65	2	172.8	0.75	3.225	0.85	0	0	2.74	16.7	0.4	16.31	3.62	1.12			
08/04/2017		7:00	3.9	63	2	172.8	0.75	3.15	0.85	0	0	2.68	16.4	0.8	15.59	3.46	1.10			
09/04/2017		7:00	3.7	60	3	259.2	0.7	2.73	0.85	0	0	2.32	14.6	0.9	13.70	3.05	1.12			
10/04/2017		7:00	4	61	2	172.8	0.75	2.775	0.85	0	0	2.36	14.8	1	13.79	3.07	1.10			
11/04/2017		7:00	5.1	58	3	259.2	0.7	2.8	0.85	0	0	2.38	14.9	2	12.90	2.87	1.02			
12/04/2017		7:00	4.9	57	3	259.2	0.7	3.57	0.85	0	0	3.03	18.2	1	17.17	3.82	1.07			
13/04/2017		7:00	5	52	2	172.8	0.75	3.675	0.85	0	0	3.12	18.6	0.9	17.72	3.94	1.07			
14/04/2017		7:00	4.8	47	3	259.2	0.7	3.5	0.85	0	0	2.98	17.9	0.7	17.18	3.82	1.09			
15/04/2017		7:00	4.5	50	3	259.2	0.7	3.36	0.85	0	0	2.86	17.3	0.8	16.48	3.66	1.09			
16/04/2017		7:00	3.7	52	3	259.2	0.7	3.15	0.85	0	0	2.68	16.4	0.7	15.69	3.49	1.11			
17/04/2017		7:00	4.4	50	3	259.2	0.7	2.59	0.85	0	0	2.20	14.0	0.1	13.91	3.09	1.19			
18/04/2017		7:00	4	64	3	259.2	0.7	3.08	0.85	0	0	2.62	16.1	0.2	15.89	3.53	1.15			
19/04/2017		7:00	4	67	2	172.8	0.75	3	0.85	0	0	2.55	15.8	0.1	15.65	3.48	1.16			
20/04/2017		7:00	4	49	3	259.2	0.7	2.8	0.85	0	0	2.38	14.9	0.1	14.80	3.29	1.17			

ANEXO 3 Coeficiente Kt, en el caso de un Tanque de Evaporación Clase “A”, para diferentes Cubiertas y Niveles de Humedad.

Tanque Clase “A”	Caso A Tanque rodeado de cubierta verde baja				Caso B 1/ Tanque con barbecho de secano			
	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)	Coeficiente Kt			Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)	Coeficiente Kt		
		HR (%) Baja < 40	HR (%) Media 40-70	HR (%) Alta > 70		HR (%) Baja < 40	HR (%) Media 40-70	HR (%) Alta > 70
Débiles < 175	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderados 175-425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65*	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuertes 425-700	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuertes > 700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.45	0.40	0.45

FUENTE: Estudio FAO. Riego y Drenaje N° 24, 1977.

ANEXO 4 Duración aproximada de las Fases del Periodo Vegetativo de Algunos Cultivos.
(C. brouwer y M. heibloem)

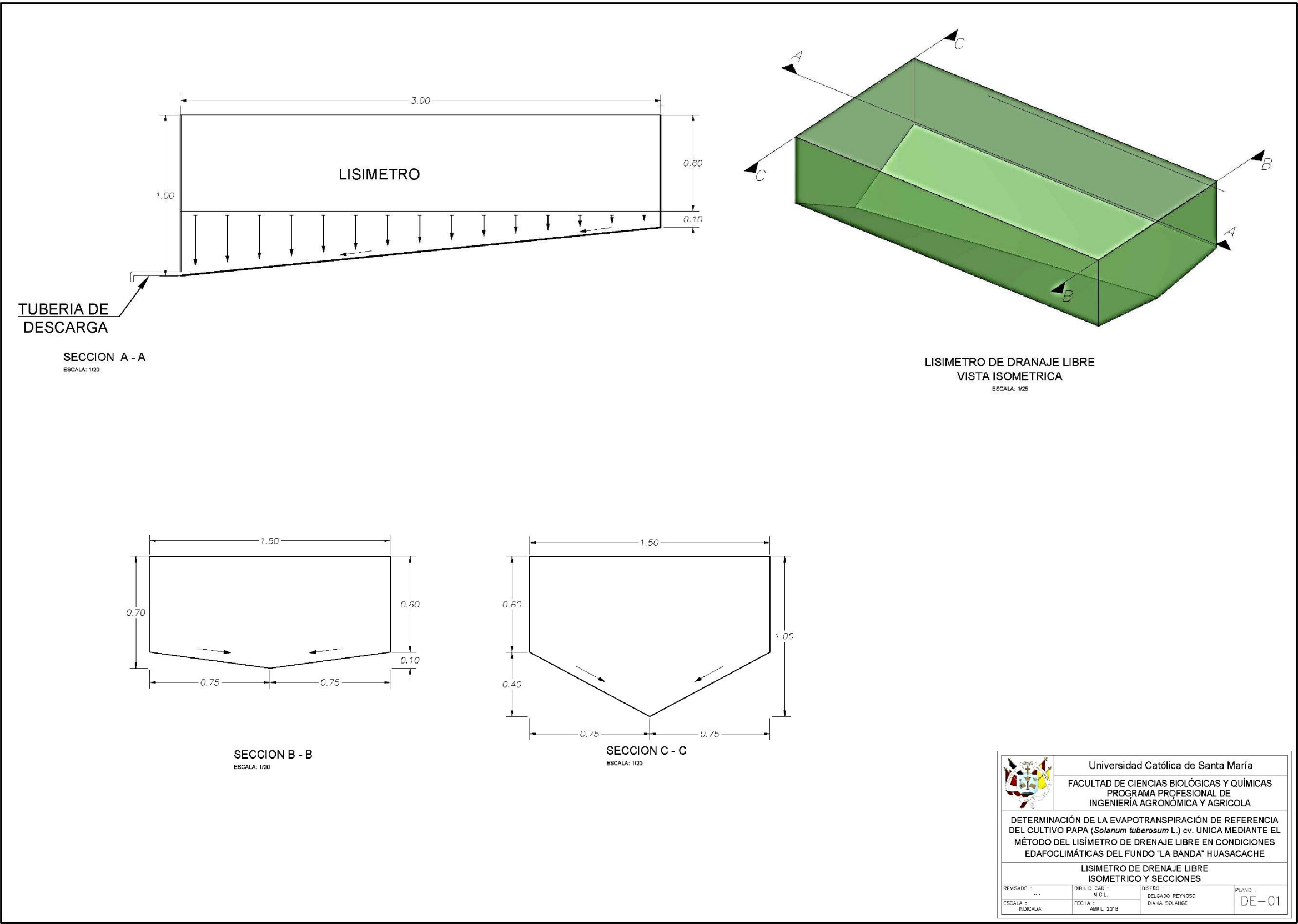
Cultivo	Total	Fase Inicial	Fase de Desarrollo	Fase de Media Estación	Fase de Ultima Estación
Algodón	180 – 195	30-30	50-50	55-65	45-50
Avena	120 – 150	15-15	25-30	50-65	30-40
Berenjena	130 – 140	30-30	40-40	40-45	20-25
Cacahuete	130 – 140	25-30	35-40	45-45	25-25
Calabaza	95 – 120	20-25	30-35	30-35	15-25
Cebada	120 – 150	15-15	25-30	50-65	30-40
Cebolla verde	70 – 95	25-25	30-40	10-20	5-10
Cebolla seca	150 – 210	15-20	25-35	70-110	40-45
Col	120 – 140	20-25	25-30	60-65	15-20
Espinaca	60 – 100	20-20	20-30	15-40	5-10
Girasol	125 – 130	20-25	35-35	45-45	25-25
Guisante	90 – 100	15-20	25-30	35-35	15-15
Judía verde	75 – 90	15-20	25-30	25-30	10-10
Judía seca	95 – 110	15-20	25-30	35-40	20-20
Lechuga	75 – 140	20-35	30-50	15-45	10-10
Lenteja	150 – 170	20-25	30-35	60-70	40-40
Lino	180 – 195	30-30	50-50	55-65	45-50
Maíz dulce	80 – 110	20-20	25-30	25-50	10-10
Maíz grano	125 – 180	20-30	35-50	40-60	30-40
Melón	120 – 160	25-30	35-45	40-65	20-20
Mijo	105 – 140	15-20	25-30	40-65	25-35
Patata	105 – 145	25-30	30-35	30-50	20-30
Pepino	105 – 130	20-25	30-35	40-50	15-20
Pequeñas semillas	150 – 165	25-25	30-35	60-65	40-40
Pimiento	120 – 210	25-30	35-40	40-110	20-30
Rábano	35 – 40	5-10	10-10	15-15	5-5
Remolacha azucarera	160 – 230	25-45	35-65	60-80	40-40
Soja	135 – 150	20-20	30-30	60-70	25-30
Sorgo	120 – 130	20-20	30-35	40-45	30-30
Tomate	135 – 180	30-35	40-45	40-70	25-30
Trigo	120 – 150	15-15	25-30	50-65	30-40
Zanahoria	100 – 150	20-25	30-35	30-70	20-20

FUENTE: C. Brouwer y M. Heibloem, Estudio FAO. Riego y Drenaje N° 24,1977.

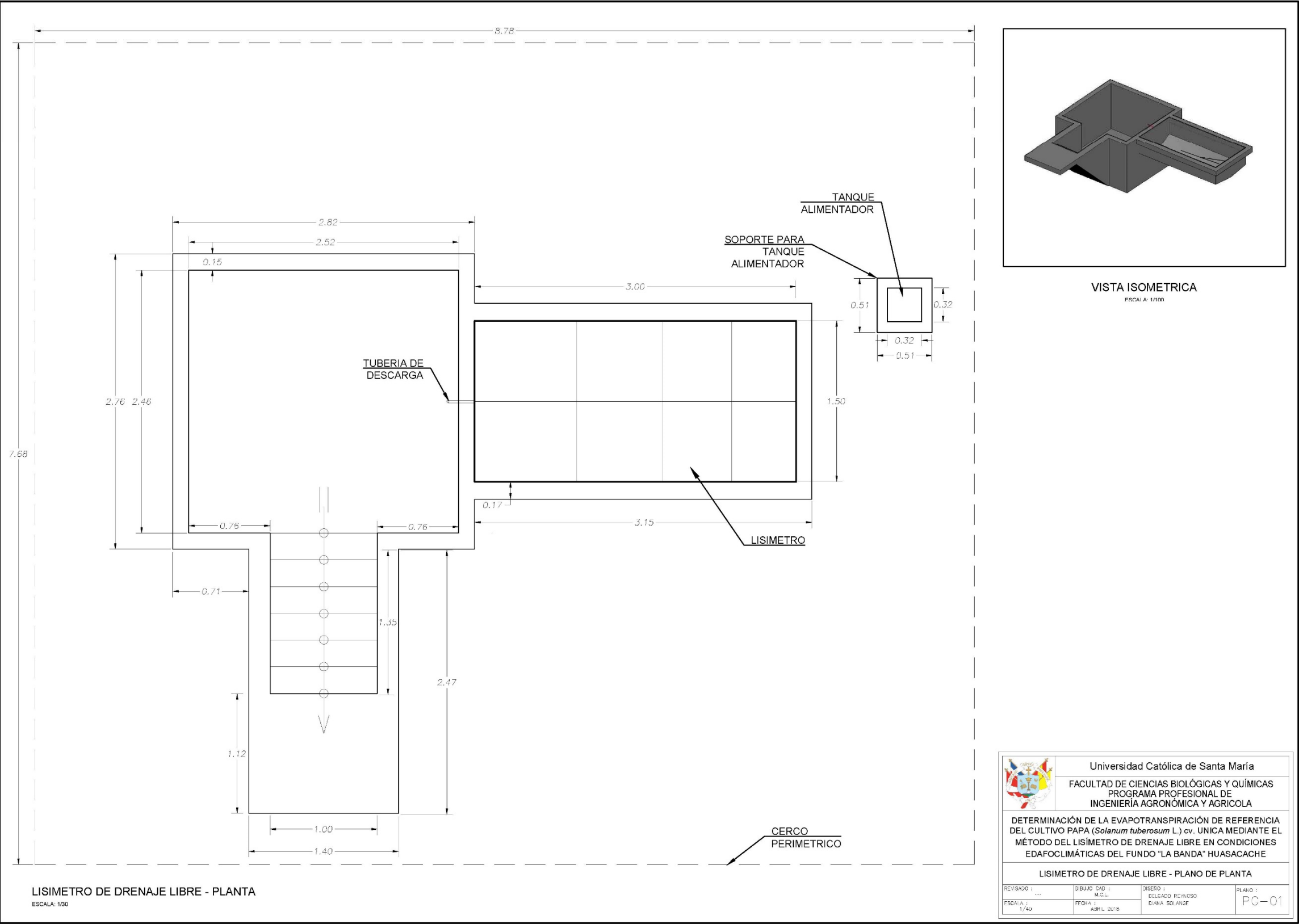


PLANOS

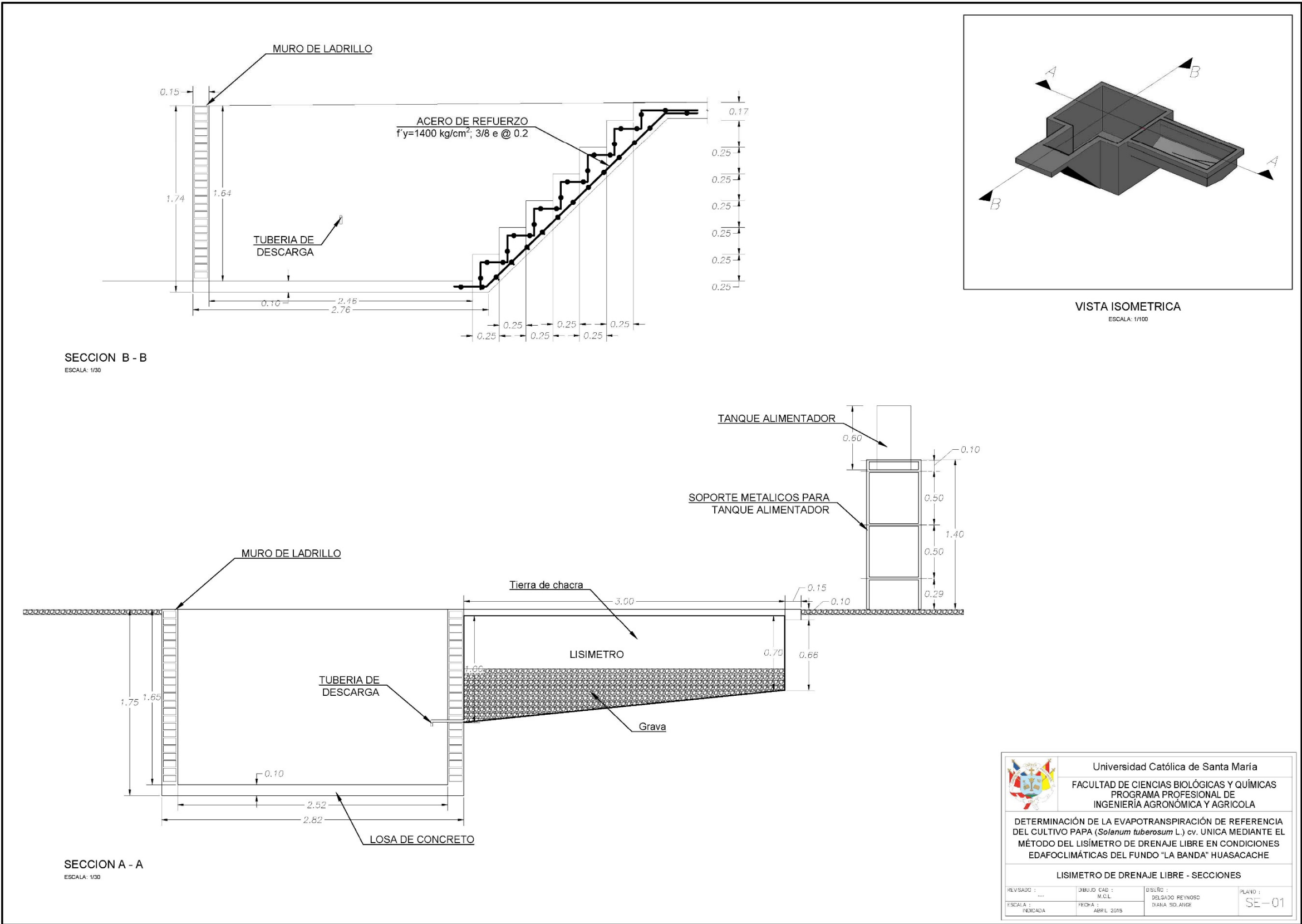
PLANO 1 Plano de Planta



PLANO 2 Plano de Lisimetro de Drenaje Libre - Secciones



PLANO 3 Plano de Lisimetro de Drenaje Libre Isométrico - Secciones



PLANO 4 Plano de Ubicación General (UG 01)

