

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**CALCULO DE LA DEMANDA HIDRICA EN EL CULTIVO DE PAPA
VARIEDAD CANCHAN (*Solanum tuberosum*) BAJO RIEGO POR GOTEO
EN CONDICIONES DEL CENTRO AGRONOMICO KAYRA-SAN JERONIMO-
CUSCO.**

Tesis Presentada por el Bachiller en Ciencias Agrarias:

NILO GARRAFA GARRAFA

Para Optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

ASESOR: ING. DR. CARLOS JESÚS BACA GARCÍA

“TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC”

KAYRA-CUSCO-2017

DEDICATORIA

Con amor a mis padres más queridos en mi vida: **Julián** y **Josefina** quienes me dieron la vida y me guiaron por el camino correcto para con la sociedad dándome valores y virtudes morales para mi vida profesional

Para mis queridos hermanos por acompañarme en todo el transcurso de mi vida en los momentos buenos y malos de mi formación profesional.

Para mis hermanas que a pesar de la distancia me han apoyado en todo momento durante el transcurso de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Julián Garrafa Sánchez y Josefina Garrafa Jara por todos los consejos que me han dado para afrontar las situaciones buenas y malas durante estos años.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía por haberme recibido como estudiante y brindado las condiciones para poder desarrollarme como profesional.

A mi asesor Dr. Carlos Jesús Baca García por haberme guiado en la realización del presente trabajo.

A los señores docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía por haberme impartido sus conocimientos y que gracias a ellos se hizo realidad este trabajo.

A mis amigos que incondicionalmente me han apoyado durante todo el tiempo.

A mis compañeros de la Facultad por todas las recomendaciones y sugerencias que han ayudado en la mejora del trabajo.

ÍNDICE

	Pag.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	viii
INTRODUCCION.	ix
I. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION.	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
II.OBJETIVOS Y JUSTIFICACION.	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
IV. MARCO TEORICO.....	15
4.1. Importancia del riego para la producción.....	15
4.2. Riego por goteo	15
4.2.1. Componentes de un sistema de riego por goteo:	16
4.2.2. Diseño agronómico del sistema de riego por goteo.....	20
4.2.2.1. Coeficiente del cultivo	20
4.2.3. Consumo diario.....	20
4.2.3.1. Dosis de riego.....	20
4.2.3.2. Lámina neta aplicada en riego por goteo.....	21
4.2.3.3. Lamina bruta aplicada en riego por goteo.....	22
4.2.3.4. Frecuencia de riego	22
4.2.3.5. Tiempo de riego	22
4.2.3.6. Volumen de riego.....	23
4.2.3.7. Numero de emisores por planta.....	23
4.2.4. Eficiencia de riego	24
4.3. Factor de agotamiento o secamiento:.....	25
4.4. Relación suelo-agua-planta y atmósfera	25
4.4.1. Conceptos generales	25
4.4.1.1. Evaporación.....	25
4.4.1.2. Transpiración	26
4.4.1.3. Evapotranspiración	26

4.4.1.4. Evapotranspiración de referencia (ET _o)	27
4.4.1.5. Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	27
4.5. Determinación de la evapotranspiración.....	28
4.5.1. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET _o)	28
4.5.2. El tanque clase a	29
4.5.3. Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ET _c).....	31
4.5.4. Coeficiente de cultivo (K _c)	31
4.6. Demanda hídrica en los cultivos.....	33
4.7. Clasificación de humedad en el suelo	34
4.7.1. Punto de marchitez permanente (P.M.P.).....	34
4.7.2. Capacidad de campo (C.C.)	34
4.7.3. Agua disponible o humedad aprovechable (H.A.).....	34
4.8. Estudio meteorológico	35
4.8.1. Clima	35
4.8.2. Importancia del clima en la producción.....	35
4.8.3. Humedad atmosférica.....	35
4.8.4. Velocidad del viento.....	35
4.8.5. Precipitación	36
4.8.5.1. Precipitación efectiva.....	36
4.9. Cultivo de papa.....	37
4.9.1. La papa en el Perú	37
4.9.2. Características botánicas.....	38
4.9.3. Exigencias respecto a las condiciones ambientales	40
4.9.4. Manejo del cultivo	42
V. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	46
5.1. Periodo y lugar del experimento.	46
5.2. Historia del terreno.	47
5.3. Materiales a utilizar	49
5.4. Descripción de las actividades.....	50
5.4.1. Levantamiento topográfico.....	52
5.4.2. Croquis de la instalación.....	54
5.5. Metodología de evaluación de la propuesta agronómica.....	56
5.5.1. Calculo de la evapotranspiración de referencia.....	57

5.5.2. Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ETc)	59
5.5.3. Cálculo de láminas de riego.....	59
5.5.4. Tiempo de riego.....	63
5.5.5. Dosis de riego.....	63
5.5.6. Frecuencia de riego	64
5.5.7. Volumen de riego.....	65
5.5.8. Consumo diario.....	65
5.5.8.1. Número de riego por mes	65
5.6. Variables evaluadas	69
5.6.1. Evaporación del agua.	69
5.6.2. Profundidad de raíz	70
5.6.3. Rendimiento por hectárea.....	70
5.7. Diseño experimental	70
5.8. Evaluación de la demanda hídrica.....	71
5.8.1. Evaluación del factor de agotamiento.....	72
5.9. Rendimiento del cultivo de papa.....	74
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
6.1. Resultados de la demanda hídrica del cultivo de papa en la Parcela C-2.....	75
6.2. Resultados de la evaluación del riego	75
6.3. Resultados del factor de agotamiento en el cultivo de papa.....	76
6.4. Resultados del rendimiento del cultivo de papa.....	77
VII. CONCLUSIONES.....	78
VIII. RECOMENDACIONES	79
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	80
X. ANEXOS	82

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1: Dosis de fertilización	43
Cuadro 2: Resultados del análisis de fertilidad	51
Cuadro 3: Resultados del análisis mecánico	51
Cuadro 4: Resultados del análisis de humedad, densidad y porosidad del suelo	51
Cuadro 5: Características del campo experimental	55
Cuadro 6: Planilla de manejo de riego	66
Cuadro 7: Registro de malezas en el campo experimental	68
Cuadro 8: Demanda hídrica y precipitación efectiva	72
Cuadro 9: Rendimiento por cada factor de agotamiento	74
Cuadro 10: Demanda hídrica para los cuatro factores de agotamiento	75
Cuadro 11: Número de riegos durante su desarrollo vegetativo del cultivo de papa	76

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Rangos típicos esperados del valor de Kc para las cuatro etapas de crecimiento	32
--	-----------

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores recomendados de coeficiente de uniformidad	24
Tabla 2. Eficiencia de riego	24
Tabla 3. factor de disponibilidad (f) para diferentes cultivos	25
Tabla 4. Coeficientes Kp del Tanque Clase A (suelo con vegetación)	31
Tabla 5. Coeficientes de cultivo (Kc) de algunos cultivos	33
Tabla 6: Factores de agotamiento en estudio	71

INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
Fotografía 1: Muestreo de suelo	52
Fotografía 2: preparación del terreno.....	52
Fotografía 3 Instalación de líneas laterales	53
Fotografía 4: Fertilización en la siembra	67
Fotografía 5: Enfermedad del cultivo de papa	68
Fotografía 6: Peso de la producción de cada parcela experimental	69
Fotografía 7: Tanque evaporímetro clase A.....	69
Fotografía 8: Evaluación de la profundidad de la raíz.....	70
Fotografía 9: Cultivo en pleno desarrollo.....	71
Fotografía 10: Rendimiento por cada factor de agotamiento	73
Fotografía 11: Área representativa para determinar el rendimiento. cultivo de papa.	76

RESUMEN

El presente trabajo se inició el 01 de julio y duro el largo proceso de investigación del ciclo fenológico hasta el 30 de noviembre del año 2016 en la Parcela C-2 del Centro Agronómico K'ayra, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Región cusco Provincia Cusco Distrito San Jerónimo.

Teniendo como objetivo general, "Calcular la demanda hídrica del cultivo de papa (*solanum tuberosum*), mediante el sistema de riego por goteo en condiciones agroclimáticas del centro Agronómico kayra".

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, se tuvo cuatro parcelas, cada una de estas con diferente factor de agotamiento (0.25, 0.35, 0.45 y 0.55),

Para determinar la demanda hídrica mediante el tanque evaporímetro clase A. fueron utilizados los datos de humedad relativa, velocidad del viento y la precipitación. Datos obtenidos de la estación Meteorológica Agrícola Principal – Kayra, así también se hizo uso de la tabla propuesta por la FAO Boletín 56, estos datos fueron procesados en la planilla de riego.

El cultivo de papa en los 153 días de evaluación demando 2484.8 m^3 / ha de agua, donde 2642.2 m^3 / ha fueron aplicados como agua de riego.

Todas las plantas del cultivo de papa, recibieron la misma cantidad de agua al momento de aplicar el riego, garantizando su correcta distribución, la parcela que se desarrolló mejor fue la parcela número cuatro, que tenía como factor de agotamiento 0.25 llegando a producir 48060 kg/ ha.

Este factor de agotamiento nos da a entender que el cultivo de papa no puede perder más del 25 % de agua de su capacidad de campo, niveles por debajo de este porcentaje reducen su rendimiento.

INTRODUCCION.

La actividad agrícola consume la mayor cantidad de agua a nivel mundial, más de las dos terceras partes del agua extraída de los ríos, lagos y acuíferos del mundo se utilizan para el riego. En el Perú el 80% de la extracción de agua se utiliza para el riego sin embargo la mayor parte del agua (65) % se pierde debido a la dependencia de los sistemas de riego y a la práctica extensiva de métodos de riego por gravedad o inundación con una eficiencia entre 30 a 45% que conllevan al uso de volúmenes de agua mayores que los sistemas tecnificados.

La seguridad alimentaria está estrechamente ligada con la seguridad hídrica con el cambio climático que afrontamos hoy en día, buscamos producir mayor cantidad de alimentos de manera sostenible con la utilización de menor cantidad de agua.

La utilización de volúmenes mayores de agua en los sistemas de riego tradicional, se debe a la baja eficiencia de los sistemas de riego empleados (riego por gravedad), así como al desconocimiento de la cantidad de agua que requiere un cultivo en todo su ciclo vegetativo, teniendo en consideración si estas cantidades sean menores a la que necesita el cultivo aumentando su rendimiento.

Conociendo la existencia de este problema es necesario conocer la cantidad del agua que un cultivo necesita durante todo su ciclo vegetativo y cuanto de esta cantidad puede perder el cultivo sin disminuir su rendimiento. Por lo que es necesario encontrar el factor de agotamiento (f) para el cultivo de papa en un sistema de riego por goteo el cual tiene una eficiencia del 95% de manera que se pueda dotar de una cantidad exacta de agua al cultivo de papa, con ayuda del sistema de riego por goteo poder llegar a la eficiencia técnica en el aprovechamiento del agua, aun que ciertas pérdidas son inevitables con frecuencia, el agua en exceso se vuelve a filtrar en el terreno provocando el anegamiento y la salinización.

Las precipitaciones pluviales satisfacen en gran parte la demanda hídrica de

los diferentes cultivos, la presencia de las precipitaciones son de forma eventual en el desarrollo fenológico de los cultivos, por lo cual es necesario complementarlas con el riego, el desconocimiento del factor de Agotamiento (f) nos lleva a suministrar agua al cultivo en cantidades inadecuadas, es de ahí de donde nace el trabajo de investigación denominado **“CALCULO DE LA DEMANDA HIDRICA EN EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD CANCHAN (*Solanum tuberosum*) BAJO RIEGO POR GOTEÓ EN CONDICIONES DEL CENTRO AGRONÓMICO KAYRA-SAN JERÓNIMO-CUSCO**

EL AUTOR

I. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION.

Las tendencias actuales en el uso del agua nos indican que estamos acercándonos a una “crisis de agua “en varias regiones del mundo, dado el acelerado crecimiento poblacional y la constante disminución del volumen de este recurso, cuya actividad principal de consumo es la agricultura que ocupa entre el 70 % y 90 % del agua procedente de ríos, lagos, cursos de agua y acuíferos.

En el Perú se tiene cultivos bajo riego un 36%, proveniente fundamentalmente de los recursos hídricos superficiales. El 88% de esta superficie esta regada con riego por gravedad y un 12% con riego presurizado (aspersión o goteo); frente a ello es necesario buscar métodos que permitan optimizar la utilización del recurso hídrico, que evite un derroche y al mismo tiempo garantice una mejor producción.

Con el uso de nuevas tecnologías como las cintas de goteo en países desarrollados ha logrado un incremento de su producción, y una alta eficiencia del agua en la región Cusco se sigue utilizando sistemas y métodos de riego deficientes que desperdician el agua, esto debido entre otras razones a la falta de conocimiento de nuevas tecnologías de riego (goteo).

El cultivo de papa (***Solanum tuberosum***) requiere por lo menos de 400 a 600 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculos, por ello la eficiencia del uso del agua es baja en condiciones de riego comunes y no supera los 2.3 kg/m³. De manera que es imprescindible realizar estudios referentes al uso eficiente del agua bajo riego por goteo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

- Cuál es la demanda hídrica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en condiciones del centro Agronómico – kayra.
- Cuanto es el factor de agotamiento con el cual se logra mayor rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el centro Agronómico – kayra.
- Cuál es el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), con el riego por goteo.

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Calcular la demanda hídrica y factor de secamiento en el cultivo de papa (***Solanum tuberosum* Var. canchan**) mediante el riego por goteo bajo condiciones del centro agronómico kayra.

2.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Determinar la demanda hídrica del cultivo de papa (***Solanum tuberosum* Var. Canchan**) mediante el uso del Tanque Clase A.
2. Determinar el factor de secamiento (f) optimo del cultivo de papa (***Solanum tuberosum* Var. Canchan**)
3. Determinar el rendimiento del cultivo de papa (***Solanum tuberosum* Var. Canchan**) con riego por goteo.

2.2. JUSTIFICACIÓN

En el presente trabajo de investigación busca calcular la demanda hídrica del cultivo de papa (*solanum tuberosum*), durante todo su ciclo vegetativo para poder tener datos exactos en nuestra región del cusco, así como también:

1. Se calculó la demanda hídrica del cultivo de papa (*solanum tuberosum*), mediante el uso del tanque evaporímetro clase "A", para tener conocimiento de cuanta cantidad de agua requiere el
2. cultivo de papa, en su desarrollo vegetativo.
3. El factor de agotamiento es la cantidad máxima de agua, expresado en porcentaje (%), que puede perder un cultivo sin entrar en estrés hídrico y no disminuir su producción. En el presente trabajo se propuso tres factores de agotamiento y un factor de agotamiento propuesto por la FAO – 2003, teniendo a este factor de agotamiento como referencia.
4. Se determinó el rendimiento del cultivo de papa, realizando una descripción entre el rendimiento y los cuatro factores de agotamiento, buscando el mayor rendimiento del cultivo de papa (*solanum tuberosum*) con el mejor factor de agotamiento.

Dentro de los contextos se justifica plenamente el presente trabajo de investigación, que determino la demanda hídrica y el factor de agotamiento optimo del cultivo de papa (*solanum tuberosum*), variedad canchan en el Centro Agronómico K'ayra, San Jerónimo, Cusco.

IV. MARCO TEORICO

4.1. Importancia del riego para la producción

El agua es el elemento vital para la vida, sin el agua no se puede vivir, la mayoría de los productos agrícolas y pecuarios están hechos en su mayor parte de agua como por ejemplo la lechuga 95% de agua, tomate el 94%, plátano el 76%, la naranja el 87%.

La producción agrícola por lo tanto depende del agua. **(Pizarro C.F, 1996)**

4.2. Riego por goteo

El riego por goteo a diferencia del riego tradicional y de aspersión es un riego localizado de alta frecuencia, aquí el agua se conduce desde el depósito o fuente de abastecimiento a través de tuberías y en su destino se libera gota a gota justo en el lugar donde se ubica la planta. El agua se infiltra en el suelo produciendo una zona húmeda. Restringida en un espacio concreto, el bulbo húmedo varía según las características del suelo, la cantidad de agua y el tiempo que hagamos durar ese constante goteo. **(Pizarro C.F, 1996)**

Ventajas:

- Se puede utilizar en todos los cultivos en hileras, es apropiado para hortalizas y frutales.
- Tiene una alta eficiencia en el uso del agua, se puede regar el triple del agua regada con sistemas por gravedad y el doble con sistemas de aspersión.
- Se puede utilizar en terrenos con pendientes altos y en suelos muy delgados
- Es un método de fácil manejo, no necesita mano de obra de gente especializada.
- No es afectado por el viento
- Se puede utilizar en lugares donde existe bajos caudales en las fuentes.
- Dado que no se moja toda la superficie del terreno, sino únicamente en una franja, el desarrollo de malezas es muy bajo comparado con otros métodos.

- No existe erosión en los suelos.

Desventaja:

- La principal desventaja de este método es la facilidad con que los orificios de los goteros se obstruyen, principalmente cuando se utilizan aguas de mala calidad y no se hace un filtrado de la misma.
- Necesita una buena supervisión del riego, cuando los goteros se obstruyen no se puede apreciar desde lejos y al taparse un gotero se produce un crecimiento de uniforme del cultivo.

4.2.1. Componentes de un sistema de riego por goteo:

Una instalación de riego debe contar como mínimo con los siguientes componentes:

- Fuente de energía.
- Cabezal de control.
- Red de tuberías.
- Goteros y emisores
- Dispositivos de control. **(FAO, 2006)**

a. Cabezal de riego

Es un conjunto de elementos, cuya función es regular la presión, filtrar el agua, controlar caudales y dosificar fertilizantes o pesticidas.

b. Equipos de filtrado del agua

Los filtros son mecanismos que permiten retener y eliminar partículas minerales y orgánicas suspendidas en el agua, son de vital importancia debido a que en el diseño de los goteros se considera el paso del agua por orificios muy pequeños, que pueden obstruirse fácilmente con partículas de arena fina, estos emisores al obstruirse, alteran la sección o área conductora de agua reduciendo el caudal de descarga y provocando una baja uniformidad en el riego.

Los principales tipos de filtro son:

- Filtros de grava o arena de cuarzo: son estructuras metálicas o plásticas cuyo elemento filtrante es arena o grava tamizada, tienen la propiedad de retener niveles importantes de partículas contaminantes sin generar mayor pérdida de carga, debido a que el cuerpo filtrante trabaja en tres dimensiones. Generalmente son instalados en parejas y en paralelo.
- Filtro de anillos: son estructuras cuyo elemento filtrante es un conjunto de discos o anillos con ranuras impresas, que se encuentran montados en forma superpuesta sobre un soporte central cilíndrico y perforado. Son fabricados de polipropileno, de gran durabilidad y altamente resistentes a la corrosión de fertilizantes y de sustancias de mantenimiento, presentan también una gran capacidad de soporte frente a las altas presiones y las vibraciones producidas por el golpe de ariete. El cuerpo filtrante trabaja en superficie y profundidad y comportándose como filtro de grava.
- Filtros de malla: son estructuras que presentan: un cilindro externo metálico o plástico llamado cuerpo, un cilindro interno o soporte generalmente de PVC, una tapa de cierre y un cartucho de malla, siendo este último cuerpo filtrante que puede ser de acero inoxidable, poliéster, o nylon. Estos filtros debido a que trabajan en superficie, retienen una menor cantidad de partículas sólidas y se colmatan con mayor rapidez. Por eso no es muy recomendable su uso en concentraciones altas de impurezas orgánicas. Estos filtros se clasifican de acuerdo de número mesh que viene a ser el número de orificios por pulgada lineal.
(Martinez L, 2001)
- **quipos de medición y control**

Entre los equipos de medición y control tenemos:

- Manómetros: son instrumentos que permiten medir la carga o presión del sistema, pueden estar ubicados en la tubería de descarga de la bomba, después de los filtros o en cualquier punto de la red, para ello se debe colocar previamente toma manométrica.

- Válvulas de control de flujo: son mecanismos que permiten regular el flujo de agua. Entre los más importantes tenemos: válvula de compuerta, válvula de bola, válvula de mariposa, válvulas de acción por pulso eléctrico o selenoide.
- Válvulas reguladoras de presión: son mecanismos que permiten mantener una presión constante en la descarga, a pesar de que la presión de entrada varíe. Las válvulas más utilizadas son de muelle, quienes presentan una carcasa y un obturador movido por un muelle. El obturador puede cerrar o abrir el flujo de agua dependiendo de la presión ejercida sobre el muelle.
- Válvula de aire o de ventosa: permiten regular en forma adecuada el contenido de aire en el sistema, la importancia se debe a la formación de bolsas de aire, ocasionadas por el ingreso brusco del agua en las tuberías que pueden originar serias pérdidas de presión y sobrepresión que terminan en tuberías rotas. otra importancia es la posibilidad de la presencia de caídas bruscas de presión en las tuberías y que puede provocar un efecto de succión que termina por colapsar las tuberías.
- Válvulas de retención: son mecanismos diseñados para evitar el retorno del flujo, es decir son de un solo sentido. Normalmente se instalan a la salida de bombas hidráulicas y evitan el regreso del flujo de agua hacia la bomba, cuando esta deja de funcionar y protegen estas unidades de sobrecargas al momento de iniciar su trabajo. **(Pino M.T y Barrera C.M., 1996).**

c. Líneas de Distribución

Las líneas de distribución son el conjunto de tuberías encargadas de llevar el flujo de agua desde la fuente o cabezal de riego hasta el emisor. Las tuberías utilizadas en riego por goteo varían de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Material: pueden ser de PVC (poli cloruro de vinilo), PE (polietileno), fibrocemento, aluminio, fundición y acero, los más utilizados son PVC y PE.

- Presión nominal: es el valor de la presión interna para la que se ha diseñado el tubo, con un coeficiente de seguridad que puede mantenerse sin fallo durante 50 años a 20°C de temperatura.
- Presión de trabajo: es el valor de la presión interna máxima a la que puede estar sometida un tubo a la temperatura de utilización.
- Diámetro: puede ser de diámetro nominal o exterior declarado por el fabricante y utilizado para identificar comercialmente y diámetro interior obtenido al promediar la medición de dos diámetros perpendiculares internos en una sección recta. **(Bustamante J.A, 1996)**

De acuerdo al tamaño del sistema de riego, las líneas de distribución pueden ser:

- Tubería de conducción: corresponde al conducto que lleva el agua desde la fuente hasta el primer nudo de la tubería principal, está presente en los sistemas de riego de tamaño considerable, en los que existe más de una tubería secundaria. En sistemas pequeños, en los que existe una sola tubería secundaria, la conducción y la principal son equivalentes.
- La tubería principal: corresponde a la línea que lleva el agua desde la tubería de conducción hasta las tuberías secundarias.
- La tubería secundaria: es el conducto que lleva el agua desde la tubería primaria hasta las tuberías terciarias, dependiendo del tamaño del sistema de riego pueden formar una verdadera red y su diseño depende del tamaño del sistema instalado. **(Bustamante J.A, 1996)**
- La tubería terciaria: es la línea sobre la cual se instala la tubería lateral, generalmente está provisto de un regulador de presión y define la subunidad de riego. Su presencia es obligatoria en los sistemas de riego y pueden ser de PVC, polietileno negro, aluminio, asbesto, cemento, etc.
- La tubería lateral: es el conducto de ultimo orden, sobre el cual se instala los emisores o goteros, el diseño depende: de la geometría establecida para la red de tuberías, de las condiciones topográficas del terreno, de la distancia entre emisores, del caudal que descargara por cada uno de

ellos y del tipo, material y diámetros de la tubería disponible. **(Pizarro C.F, 1996)**

4.2.2. Diseño agronómico del sistema de riego por goteo

4.2.2.1. Coeficiente del cultivo

Utilizando los métodos anteriormente descritos, se ha procedido a calcular el valor de la evapotranspiración. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia de cualquier cultivo se procede mediante la fórmula siguiente formula.

$$ETR(\text{cultivo}) = ETP * Kc$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real del cultivo, expresado (mm/día)

ETP = evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc = coeficiente del cultivo. **(Olarte W, 2003)**

4.2.3. Consumo diario

Es la cantidad de agua que consume o demanda un cultivo en forma diaria, se puede expresar en forma m³/ha o en mm/ha, se calcula según la expresión:

$$Cd = \frac{Db}{DM}$$

Donde:

Cd = consumo diario en m³/ha o mm/ha.

Db = demanda unitaria bruta en m³/ha.

DM = número de días del mes. **(FAO, 2006)**

4.2.3.1. Dosis de riego

La dosis de riego es el volumen de agua que puede ser aplicado en un riego por tanto es el volumen máximo que puede ser retenido por el suelo. Depende de la densidad aparente, profundidad radicular, nivel máximo tolerable de la humedad, capacidad de campo, punto de marchitez y eficiencia de riego.

Es de dos tipos: dosis neta cuando no se considera la eficiencia de riego en su

cálculo y dosis bruta cuando es considerado la eficiencia. Puede expresarse en dos maneras: en m³/ha. y en forma de lámina de riego en mm.

(Olarte H.W, 1987)

La dosis neta y bruta se calcula con las siguientes expresiones respectivamente:

$$D_{rn} = 10 \times L_n \qquad D_{rb} = \frac{D_{rn}}{E_r}$$

D_{rn} = dosis neta de riego en m³/ha.

D_{rb} = dosis bruta de riego en m³/ha.

E_r = eficiencia de riego

L_n = lamina neta en mm.

La lámina neta y bruta a su vez se calcula con las siguientes expresiones:

$$L_n = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) \cdot da. \text{ pr. f.} \qquad L_b = \frac{L_n}{E_r}$$

n = coeficiente del descenso tolerable de humedad

Pr = profundidad radicular o profundidad de riego en mm

CC = capacidad de campo en %

PMP = punto de marchites permanente en %

Da = densidad aparente.

L_b = lamina bruta de riego en mm. **(Fuentes Y.J.L, 2003)**

4.2.3.2. Lámina neta aplicada en riego por goteo

Debido a que el riego por goteo es localizado y generalmente no se moja toda el área irrigada se define la lámina aplicada en riego por goteo con la siguiente expresión: $L_{ng} = L_n \times \% Am$

Donde:

L_{ng} = lamina neta en riego por goteo.

L_n = lamina neta.

%am = porcentaje de área mojada. **(Pizarro C.F, 1996)**

4.2.3.3. Lamina bruta aplicada en riego por goteo

La lámina bruta de riego por goteo se calcula con la siguiente expresión:

$$Lbg = \frac{Lng}{Er}$$

Donde:

Lbg = lamina bruta de riego por goteo.

Lng = lamina neta de riego por goteo.

Er = eficiencia de riego. **(Rिकासca Z.M.A, 2000)**

4.2.3.4. Frecuencia de riego

La frecuencia o intervalo de riego es el lapso de tiempo que será necesario esperar para realizar un nuevo riego, se calcula dividiendo la lámina neta entre el consumo diario, la expresión utilizada es:

$$Fr = \frac{Lng}{cd}$$

Donde:

Fr = frecuencia de riegos en días.

Lng = lamina neta en riego por goteo en mm.

Cd = consumo diario en mm/hr.

4.2.3.5. Tiempo de riego

El tiempo de riego expresado en horas se calcula con las siguientes expresiones:

$$Tr = \frac{Lbg}{lpp}$$

$$lpp = \frac{LL \times Qe}{10000 \times Se}$$

$$LL = \frac{10000}{Sh} NLh$$

Donde:

Tr = tiempo de riego en horas.

Lbg = lamina bruta en riego por goteo en mm.

Ipp = intensidad de precipitación de emisores en mm/hr.

LL = longitud total en lateras por hectárea en m.

NLn = número de lateras por hilera de plantas.

Sh = separación entre hileras de plantas en m.

Se = separación entre emisores en m.

Qe = caudal del emisor. En l/hr. **(Martinez B.L, 1998)**

4.2.3.6. Volumen de riego

El volumen de riego es la cantidad total de agua aportada en los riegos durante un periodo de tiempo. Se calcula con la expresión: $V_r = D_{rv} \times N_r$

Donde:

V_r = volumen de riego en m^3/ha

D_{rv} = dosis bruta de riego.

N_r = número de riegos que se realiza durante el periodo considerado.

(Olarte H.W, 1987)

4.2.3.7. Numero de emisores por planta

Es la cantidad de goteros que existe por golpe, en el caso de cultivos anuales generalmente se utiliza un emisor por planta mientras que en cultivos permanentes como los frutales suele utilizarse más de un emisor por planta.

Tabla 1. Valores recomendados de coeficiente de uniformidad

EMISORES	PENDIENTE (i)	CU	
		Clima árido	Clima Húmedo
Espacio entre emisor > 4m.	Uniforme < 2%	0.90 0.95	– 0.80 – 0.85
	Uniforme u ondulado >2%	0.85 0.90	– 0.75 – 0.80
Espacio entre emisor < 2.5 m.	Uniforme < 2%	0.85 0.90	– 0.75 – 0.80
	Uniforme o undulado > 2%	0.80 0.90	– 0.70 – 0.80
Cinta de riego o exudación Cintas de exudación	Uniforme < 2%	0.80 0.90	– 0.70 – 0.80
	Uniforme u ondulado > 2%	0.70 0.85	– 0.65 -0.75

Fuente (Pizarro C.F, 1996)

4.2.4. Eficiencia de riego

La eficiencia de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. La eficiencia la determina en gran medida el método de riego utilizado cuyos valores se presentan en el Cuadro siguiente:

Tabla 2. Eficiencia de riego.

Método de riego	Agua útil para el cultivo litros por cada 100 litros aplicados
riego tendido	20 – 30
riego por surcos	40 – 70
riego por melgas	50 – 60
riego por aspersión	65 – 80
riego por goteo	90 – 95

Fuente: (Cisneros A.R, 2003)

4.3. Factor de agotamiento o secamiento:

Los cultivos presentan diferentes factores de agotamiento, que les permite tener un desarrollo y producción adecuados y que se pueda usar como una herramienta de trabajo para un buen manejo de agua **(FAO, 2006)**

Tabla 3. factor de disponibilidad (f) para diferentes cultivos

grupos de cultivos	F
verduras y legumbres	0.2 -0.6
Papa	0.35
frutas y forrajes	0.3 - 0.7
Granos	0.40 - 0.55
Cebada	0.4
Haba	0.4
Maíz	0.4
Trigo	0.4

Fuente: (FAO, 2006)

4.4. Relación suelo-agua-planta y atmósfera

4.4.1. Conceptos generales

4.4.1.1. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. **(FAO, 2006)**

La evaporación representa el paso del estado líquido al estado de vapor. Sea cual fuere la superficie en la que se produzca (mar, hoja,

etc.) necesita calor, prácticamente 600 calorías por gramo que, por lo general, es aportado por la energía radiante del sol. **(Castañón G., 2000)**

4.4.1.2. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. **(FAO, 2006)**

La transpiración es un fenómeno físico de evaporación del agua de las plantas hacia la atmósfera. Se puede considerar como la respuesta de dichas plantas a la demanda atmosférica. Se produce, sobre todo, en las hojas, pero también a través de los tallos, las flores, etc. La mayor parte se efectúa a través de los estomas. **(Castañón G., 2000)**

4.4.1.3. Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos.

En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración. **(FAO, 2006)**

Según Castañón (2000), la evapotranspiración es la cantidad de agua

perdida bajo forma de vapor, desde una superficie cubierta de vegetación, que es el utilizado para la medida de las necesidades de agua de las plantas.

4.4.1.4. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La ET_o se define como la tasa de evapotranspiración de una cubierta vegetal de referencia en óptimas condiciones de crecimiento y bajo suministro adecuado de agua; para lo cual se asume, una altura de 0.12 m, una resistencia de superficie constante de 70 ms⁻¹ y un albedo de 0.23. **(FAO, 2006)**

El principal objetivo de definir la evapotranspiración de referencia (ET_o), es poder calcular una evapotranspiración (ET), que multiplicada por un coeficiente de cultivo (K_c), pueda servir para estimar la evapotranspiración de los cultivos (ET_c = ET_o x K_c) **(Santos P.L et al, 2010)**

4.4.1.5. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La ET_c, es la evapotranspiración de un cultivo determinado en un suelo fértil, sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción **(Fuentes Y.J.L, 2003)**

La ET_c depende de los parámetros climáticos, de la disponibilidad de agua, del tipo y variedad de cultivo, de la densidad de siembra y del estado de su desarrollo. La planta a lo largo de su ciclo fenológico, no presenta la misma sensibilidad a la disponibilidad de agua. Generalmente la prefloración o floración y la maduración del fruto son las épocas en que se ve más afectada por el estrés hídrico, los llamados periodos críticos **(Castañón G., 2000)**.

4.5. Determinación de la evapotranspiración

4.5.1. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

Es el primer paso para poder determinar la evapotranspiración del cultivo (ET_c) **(Castañón G., 2000)**

➤ **Evapotranspiración calculada con datos meteorológicos**

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, la ET se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semi-empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo o de referencia utilizando datos meteorológicos. Algunos de los métodos son solamente válidos para condiciones climáticas y agronómicas específicas y no se pueden aplicar bajo condiciones diferentes de las que fueron desarrolladas originalmente.

Numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de los varios métodos de cálculo para diversas localidades. Como resultado de una Consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO Penman-Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o). La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo (K_c) que relacionan la ET_c con la ET_o. La ET de superficies cultivadas bajo condiciones no estándar se ajusta mediante un coeficiente de estrés hídrico (K_s) o modificando el coeficiente de cultivo **(FAO, 2006)**

➤ **Evapotranspiración estimada con el tanque de evaporación**

La evaporación de una superficie libre de agua, proporciona un índice del efecto integrado de la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y del viento en la evapotranspiración. Sin embargo, diferencias entre la superficie de agua y las superficies cultivadas producen diferencias significativas entre la pérdida de agua de una superficie

libre de agua y una superficie cultivada. El tanque ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo **(FAO, 2006)**

4.5.2. EL Tanque Clase A

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm día⁻¹) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período.

Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua. Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada **(FAO, 2006)**

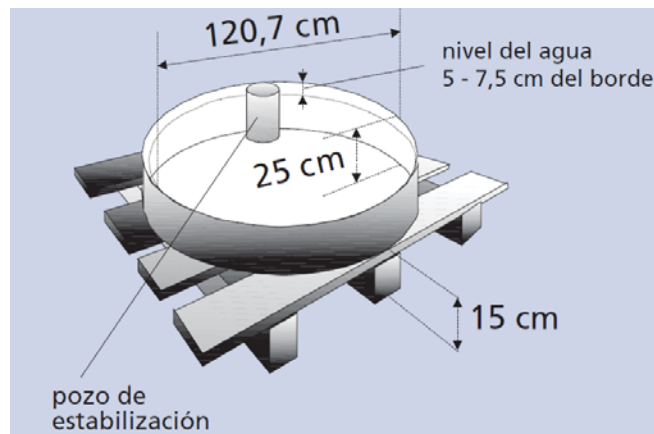
El Tanque Clase A es circular, de 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo. El tanque debe estar a nivel. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 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.

El lugar de instalación debe estar cubierto preferentemente con pasto, en un área de 20 por 20 m, abierto a todos lados para permitir la circulación del aire. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados.

Las lecturas del tanque se realizan diariamente temprano en la mañana a la misma hora que se mide la precipitación. Las mediciones se realizan dentro de un área estable situada cerca del borde del tanque.

El área estable la produce comúnmente un cilindro de metal de cerca de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad con una pequeña abertura en la base para permitir el flujo de agua (FAO, 2006)

Imagen 1: Tanque Clase A



Fuente: (FAO, 2006)

La ETo se calcula por la fórmula:

$$ETo = Ev * Kp$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Ev = Evaporación del agua en el tanque (mm/día).

Kp = Coeficiente del tanque

Tabla 4. Coeficientes Kp del Tanque Clase A (suelo con vegetación)

EL COEFICIENTE DEL TANQUE K_{tan} (Caso 1)

Distancia a Barlovento D (m)	Velocidad del viento		Humedad Relativa Media		
	(Km/día)	(m/s)	<40	40 – 70	> 70
0	< 175	< 2	0.55	0.65	0.75
a	175 – 425	2 – 5	0.50	0.60	0.65
9	425 – 700	5 – 8	0.45	0.50	0.60
	>700	>8	0.40	0.45	0.50
10	< 175	< 2	0.65	0.75	0.85
a	175 – 425	2 – 5	0.60	0.70	0.75
99	425 – 700	5 – 8	0.55	0.60	0.65
	>700	>8	0.45	0.55	0.60

Fuente: Boletín FAO 56, Riego y Drenaje (2006)

4.5.3. Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ET_c)

A partir de los valores de ET_o, que multiplicados por el K_c de cultivo se determina la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm/día).

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c = Coeficiente de cultivo

4.5.4. Coeficiente de cultivo (K_c)

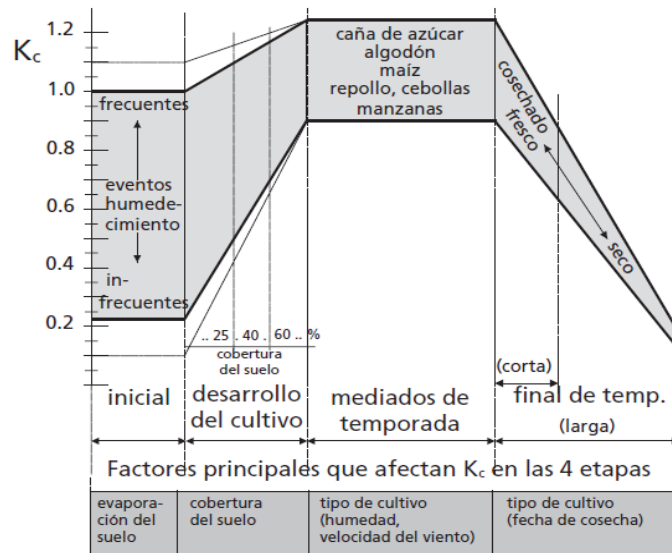
El valor del coeficiente del cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su periodo vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo. en los cultivos anuales hay que distinguir cuatro etapas en su periodo vegetativo:

- **Primera etapa:** etapa inicial o de establecimiento del cultivo. Abarca desde la siembra o plantación hasta que el cultivo queda plenamente

establecido: cubre o sombrea un 10 % de la superficie del suelo, suponiendo que los rayos del sol incidan perpendicularmente.

- **Segunda etapa:** etapa de desarrollo del cultivo o de rápido desarrollo del cultivo. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre o sombrea de forma efectiva la superficie del suelo (menos del 70% - 80% de ésta).
- **Tercera etapa:** etapa de mediados del periodo o de máxima evapotranspiración. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta la iniciación de la maduración del cultivo, que se manifiesta por el envejecimiento del follaje.
- **Cuarta etapa:** etapa final o de maduración y cosecha. Abarca desde el final de la etapa anterior (que se manifiesta por una marcada disminución en el consumo de agua) hasta la maduración del cultivo o su cosecha. Según (Fuentes Y.J.L, 2003)

Grafico 1. Rangos típicos esperados del valor de K_c para las cuatro etapas de crecimiento



Fuente. Boletín FAO 56, Riego y Drenaje (2006)

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo

está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de Kc: los correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), la etapa de mediados de temporada (Kc med) y la etapa final (Kc fin) (FAO, 2006)

Tabla 5. Coeficientes de cultivo (Kc) de algunos cultivos

Cultivos	Días desde siembra a cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Papa	0,18	0,23	0,30	0,40	0,53	0,70	0,84	0,94	1,01	1,05	1,07	1,04	0,95	0,80	0,50
Maíz choclo	0,26	0,30	0,35	0,42	0,51	0,62	0,73	0,83	0,91	0,97	1,01	1,02	1,00	0,93	0,80
Haba en verde	0,24	0,30	0,36	0,44	0,54	0,67	0,77	0,86	0,93	0,96	0,99	1,00	0,96	0,88	0,76
Arveja verde	0,30	0,34	0,40	0,48	0,60	0,71	0,80	0,87	0,93	0,96	0,97	0,97	0,94	0,86	0,77
Trigo (*)	0,25	0,36	0,50	0,65	0,78	0,90	0,98	1,04	1,09	1,11	1,12	1,08	0,98	0,94	0,51
Col	0,18	0,23	0,31	0,41	0,53	0,66	0,76	0,85	0,93	0,96	0,98	0,97	0,94	0,85	0,72
Acelga (*)	0,17	0,21	0,28	0,38	0,51	0,64	0,82	0,91	0,97	1,01	1,02	0,99	0,91	0,78	x
Cebolla	0,28	0,34	0,42	0,52	0,62	0,71	0,78	0,84	0,84	0,91	0,92	0,92	0,90	0,85	0,74
Espinaca (*)	0,18	0,22	0,32	0,48	0,71	0,92	1,04	1,06	1,06	0,94	0,73	x	x	x	x
Lechuga	0,21	0,28	0,37	0,50	0,67	0,82	0,91	0,96	0,96	0,91	0,79	x	x	x	x
Zanahoria	0,34	0,41	0,51	0,60	0,70	0,81	0,90	0,97	1,03	1,07	1,09	1,09	0,96	0,96	0,80

Fuente: (Garay C.O, 2009)

4.6. Demanda hídrica en los cultivos

La papa requiere de 0.35 a 0.80 m³ de agua para producir 1kg de materia seca de tubérculo. En condiciones de campo esto se traduce en 350 a 650 mm durante el crecimiento, que depende del clima y de la variedad **(Sood y Singh 2003. Mencionado por FAO 2012)**

La productividad del agua para rendimiento de tubérculos frescos que contengan cerca del 75% de humedad, es de 4 a 11 kg/m³. La productividad del agua para rendimientos expresada como materia seca del tubérculo, varía entre 1.3 a 2.8 kg/m³. En condiciones de suministro hídrico limitado, el

suministro disponible, preferencialmente debería centrarse en maximizar el rendimiento por hectárea en lugar de repartir el agua limitada en un área más grande. Se puede ahorrar agua a través de un calendario mejorado y profundidad de la aplicación de riego. **(FAO, riego y drenaje 66, (2012)**

4.7. Clasificación de humedad en el suelo

Los espacios entre las partículas del suelo forman una red de cavidades conectadas entre sí, de una variedad infinita de formas y dimensiones. Al suministrar agua en un suelo seco, ya sea por lluvia o por riego, ésta se distribuye alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y de cohesión; desplaza el aire de las cavidades y finalmente, llena los poros.

4.7.1. Punto de marchitez permanente (P.M.P.)

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También el P.M.P. depende de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, de la capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el P.M.P. representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento.

4.7.2. Capacidad de campo (C.C.)

Es el porcentaje de humedad que es retenida a una tensión de 1/3 de atm aproximadamente y es la medida de mayor cantidad de agua que un suelo retendrá o almacenará bajo condiciones de completa humedad, después de haber drenado libremente. Aunque depende del tipo de suelo, después de la saturación, el drenado libre dura aproximadamente entre uno a tres días.

4.7.3. Agua disponible o humedad aprovechable (H.A.).

Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente). **(Cisneros A.R, 2003)**

4.8. Estudio meteorológico

4.8.1. Clima

Conjunto de fenómenos meteorológicos, que caracterizan el estado medio de la atmosfera en un punto de la superficie terrestre y que pueden tener influencia sobre la vida vegetal y animal.

4.8.2. Importancia del clima en la producción

El conocimiento e interpretación racional del clima, pueden ser aplicados para:

- Planificar el trabajo de los campos de cultivo
- Establecer los cultivos y seleccionar métodos agrícolas para obtener, los mejores resultados.
- Determinar el tiempo favorable para las diferentes labores agrícolas
- Proveer la aparición de plagas y enfermedades
- Proyectar y ejecutar obras de riego y de drenaje
- Establecer la defensa, contra heladas, inundaciones, sequias, granizadas, etc.

4.8.3. Humedad atmosférica

Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. Áreas bien regadas en regiones áridas secas y calientes, consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor de la atmósfera. En cambio, en regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

4.8.4. Velocidad del viento

El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la

superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye. **(FAO, 2006)**

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

Donde:

u_2 = velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m s⁻¹],

u_z = velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m s⁻¹],

z = altura de medición sobre la superficie [m].

4.8.5. Precipitación

Es toda forma de humedad que originándose de en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garuas y nevadas. **(Villón, M. 2002)**

4.8.5.1. Precipitación efectiva

La lamina de lluvia que cae sobre la superficie, parte escure a través de la superficie, y la otra se infiltra en el suelo. De la infiltrada parte percola a estratos inferiores y parte es retenida por el suelo para ser aprovechada por la planta esta última es la que interesa para efectos de riego y es pequeña en relación a la lámina total precipitada. **(Benites, C. – 2001)**

La precipitación efectiva (PE) se define como la porción de la lámina total de agua precipitada, que es retenida por el suelo, para ser aprovechada por la planta y satisfacer sus necesidades para su normal desarrollo.

Una forma simple para determinar la precipitación efectiva y que puede ser usada para su aplicación en áreas con pendientes inferiores al 5 %. Así en función de la precipitación caída durante el mes tenemos:

$$Pe = 0.8 P - 25 \text{ Si: } P > 75 \text{ mm/mes}$$

$$Pe = 0.6 P - 10 \text{ Si: } P < 75 \text{ mm/mes}$$

Donde:

P = precipitación mensual (mm/mes)

Pe = precipitación efectiva (mm/mes)

En climas secos: En climas secos, las lluvias inferiores a 5 mm no añaden humedad a la reserva del suelo. Así, si la precipitación es inferior a 5 mm se considera una precipitación efectiva nula. Por otro lado, sólo un 75 % de la lluvia sobre los 5 mm se puede considerar efectiva. Se puede usar la expresión

$$Pe = 0,75 \cdot (\text{lluvia caída} - 5 \text{ mm}) \text{ (FAO, 2008)}$$

4.9. CULTIVO DE PAPA

4.9.1. La papa en el Perú

La papa es una planta alimenticia que ha estado vinculado con las culturas más remotas de nuestra historia. Los primeros habitantes del Perú (cazadores, recolectores, nómades) colectaron tubérculos de especies silvestres que se encuentran ampliamente distribuidos en nuestro territorio.

Las evidencias arqueológicas que indican que la papa era un alimento que formaba parte de la dieta de los antiguos peruanos son los cerámicos de la cultura moche (siglo I-VI) y chimú (siglo IX-XIII). **(Egusquiza R. , 2000)**

La historia de la papa comienza hace unos 8000 años, cerca del lago Titicaca que está a 3800 m.s.n.m en la cordillera de los andes, américa del sur, en la frontera de Bolivia y Perú. Ahí, según revela la investigación, las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur hace 700 años antes, comenzaron a domesticar las plantas silvestres de la papa que se daba en abundancia en los alrededores del lago. **(FAO, 2008)**

Posición taxonómica

Según la propuesta de Arthur Cronquist el año 1979 la taxonomía de la papa es:

REINO: Vegetal
SUBREINO: Embriophyta
DIVISION: Magnoliophyta
CLASE: Magnoliopsida
SUBCLASE: Asteridae
ORDEN: Solanales
FAMILIA: Solanaceae
GENERO: Solanum
ESPECIE: ***Solanum tuberosum***
VARIEDAD: **Canchan**

4.9.2. Características botánicas

La planta

La papa (***Solanum tuberosum***) es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz. (FAO, 2008)

El tallo

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

La hoja

La hoja es la estructura que sirve para captar y transformar la energía lumínica (luz solar) en energía alimenticia (azúcar y almidón), la superficie de las hojas es la fuente que utiliza la planta de papa para el crecimiento, y almacenamiento (producción). Es importante mantenerla sana el tiempo más largo posible.

La flor

La flor es la estructura aérea que cumple funciones de reproducción sexual. Desde el punto de vista agrícola, las características de la flor tienen importancia para la diferenciación y reconocimiento de variedades, las flores se presentan en grupos que conforman la inflorescencia; cada flor se presenta al final de las ramificaciones del pedúnculo floral (pedicelos), el pedicelo está dividido en dos partes por un codo denominado articulación de pedicelo o codo de abscisión.

Fruto y semilla

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

El tubérculo

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

4.9.3. Exigencias respecto a las condiciones ambientales

a) . Temperatura

Para una adecuada producción de papa el clima debe ser frío. En la zona en la que se desea sembrar papa debe existir por lo menos dos meses en los que las temperaturas promedio diarias deben ser menores a 25° C. **(Egusquiza R. , 2000)**

El tubérculo en latencia, inicia su brotación y emergencia en forma lenta a 5°C y se maximiza a los 14-16°C. Esto es importante considerar en la época de plantación ya que esta se debe iniciar cuando la temperatura del suelo haya alcanzado por lo menos 7-8°C.

b) Luz

La intersección de luz por el cultivo depende de la intensidad lumínica de la arquitectura del follaje (planofila o erectofila), de la edad de las hojas y porcentaje del suelo cubierto por el follaje.

El proceso fotosintético se efectúa cuando los rayos del sol inciden sobre la totalidad de las hojas verdes y no sobre el suelo desnudo. La asimilación bruta de la papa en un día luminoso pleno (50000 lux) a 18-20° es de 1.92 gCO₂ por metro cuadrado de área foliar por hora, con una concentración de 0.03% de CO₂. Esto equivale a un rendimiento neto potencial de 1.23g de materia seca. **(Jimenez A.C, 2010)**

c) Fotoperiodo

Con respecto a la respuesta a la longitud del día o fotoperiodo, la misma depende de la subespecie y variedad considerada. La subespecie tuberosum requiere para desarrollar su área foliar, de fotoperiodo largo (más de 14 horas de luz) y un proceso de tuberización (formación y engrosamiento de los tubérculos) de fotoperiodo corto (menos de 14 horas de luz)

La subespecie andigena, por el contrario, tuberizan adecuadamente bajo condiciones de día corto y al ser llevada a condiciones de fotoperiodo largo el

periodo de crecimiento se alarga excesivamente, florece profusamente, pero no tuberiza o lo hace escasamente, es decir, produce tubérculos pequeños. **(Jimenez A.C, 2010)**

d) Suelo

Las papas pueden crecer casi en todo tipo de suelo, salvo donde son salinos o alcalinos. Los suelos naturalmente sueltos que ofrecen menos resistencia al crecimiento de los tubérculos, son los más convenientes, y los suelos arcillosos o de arena con arcilla y abundante materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, son los mejores. Se considera ideal un ph de 5.2-6.4 en el suelo. **(FAO, 2008)**

e) Siembra

La siembra es la instalación del campo de papa. Una buena siembra es aquella en la que las plantas emergen uniformemente y en el tiempo más corto posible. Normalmente las plantas emergen a la tercera o cuarta semana después de la siembra.

En la fecha de siembra el terreno debe estar en condiciones óptimas al igual que las semillas; de la misma manera, en la siembra se debe tener disponibles al personal, los equipos, herramientas y los insumos agrícolas necesarios (abonos, fertilizantes, etc.).

Además de la semilla, en la siembra se incorpora al suelo los abonos y fertilizantes y, si fuera necesario, plaguicidas para reducir daños de plagas que pudieran presentarse en la zona.

Profundidad y distanciamiento de siembra

La profundidad de siembra se refiere a la longitud que debe existir entre el borde superior de la semilla sembrada (enterrada) con la parte exterior del suelo se considera una adecuada profundidad entre (10-20 cm)

El distanciamiento de siembra de tubérculos semilla de papa es la longitud de separación entre los surcos (distancia entre surcos) y entre semilla (distancia dentro del surco) cuyos valores tradicionales es 1 metro entre surco y entre

semilla 30 cm.

En realidad, el distanciamiento más correcto es aquel en el que se logra los siguientes resultados:

- Utilización máxima de la superficie del suelo.
- Máximo aprovechamiento de la energía lumínica (luz solar).
- Follaje que no cree condiciones para daños de plagas o enfermedades.
- Follaje que no incremente daños de accidentes climáticos (sequias, heladas). **(Egusquiza R. , 2000)**

4.9.4. Manejo del cultivo

Abonos y fertilizantes

La aplicación de abonos (fuentes orgánicas) y fertilizantes (fuentes inorgánicas) al suelo tienen por objeto proporcionar los nutrientes que requieren las plantas para su correcto crecimiento y producción. De otra manera, la aplicación de abonos y fertilizantes se realiza para restituir al suelo lo que extrae la cosecha de papa.

- **Abonos**

Son importantes porque mejoran las características del suelo, crean condiciones para el desarrollo de microorganismos benéficos, favorecen el crecimiento de raíces y contribuyen en la retención del agua y nutrientes.

Los abonos deben utilizarse una vez descompuestos y, si fuera posible emplearlos una vez descompuesto en forma de compost.

- **Fertilizantes**

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

Cuadro 1: Dosis de fertilización

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

Fuente: (Guia tecnica manejo integrado de papa, 2011)

Riego

En el país, el cultivo de la papa prospera satisfactoriamente en lugares donde hay abundancia de lluvia o disponibilidad de agua para riego, ya que el sistema radical efectivo de la papa se encuentra entre los 0.20 a 0.60 m de profundidad necesitando de 500 a 700 mm de agua durante su período vegetativo. En época seca el cultivo demanda la aplicación de riegos frecuentes y ligeros, para tratar de mantener el suelo a capacidad de campo, debido a que los niveles bajos de humedad afectan negativamente el rendimiento, tamaño y calidad de la papa.

Los cambios bruscos en el contenido de humedad en el suelo causan deformaciones en los tubérculos y mayor ataque de larvas de polillas de la papa. Los excesos de humedad favorecen la diseminación de bacterias (*Ralstonia solanacearum*), hongos (*Phytophthora infestans*), recomendándose mantener el agotamiento permisible entre el 30 al 35% del agua útil en el suelo.

Control de malezas

Las malezas o malas hierbas son otras plantas que compiten con las plantas de papa en el uso del espacio, agua y nutrientes; por otro lado, las malezas pueden ser hospederos de patógenos que causan daños al cultivo de papa. Siendo así, es recomendable mantener densidades muy bajas de malezas y si el campo de papa estuviera dedicado a la producción de semillas, debe estar libre de malezas. **(EGUSQUIZA B.R Y CATALAN B. W, 2011).**

Aporque

Es el traslado de tierra al cuello de las plantas de papa. En muchos lugares de la sierra se denomina segundo cultivo. El aporque eleva la altura de los

camellones, profundiza el surco de riego y aísla las raíces, estolones y tubérculos de las plagas que proceden del exterior.

➤ **Oportunidad del aporque**

Se realiza cuando las plantas alcanzan entre 25 y 30 cm de altura. La oportunidad del aporque es muy dependiente de las condiciones de lluvia (muchas veces debe aprovecharse un periodo de “escampe” en el que hay ausencia de lluvia y el suelo se encuentra con humedad apropiada).

El aporque debe ser más cuidadoso o debe hacerse doble aporque cuando las condiciones son muy favorables sobre todo a la ranca y a la incidencia de gorgojo de los andes.

No es deseable realizar el aporque cuando el suelo está muy húmedo porque se compacta o produce terrones; tampoco es recomendable aporcar cuando las plantas tienen más de 35 cm porque se produce daños (heridas) a las plantas y a la zona subterránea que se convierten en vías de ingreso de enfermedades. **(EGUSQUIZA B.R Y CATALAN B. W, 2011)**

Enfermedades

La papa es una especie susceptible a diferentes plagas y enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus e insectos

Enfermedades:

- Ranca de la papa, provocado por el hongo **Phytophthora infestans**.
- la roña o sarna de la papa -**spongospira subterranea**
- el hongo de la papa

Plagas

A su vez la papa puede ser atacada por varias especies de insectos, ácaros y nematodos entre los cuales se encuentran:

- **Gorgojo de los andes (*Premnotrypes latithorax*.)**

El gorgojo de los Andes es considerado como plaga clave para el cultivo de la papa en la región Cusco. Los adultos son de color marrón claro a oscuro y miden de 6 a 8 mm, no vuelan y se trasladan caminando. Los huevos son de

color blanco a crema y miden hasta 1 mm de tamaño. Las larvas son de crema claro y la cabeza de color marrón, mide hasta 8mm. Las pupas son de color blanco crema y pueden medir hasta 6mm.

La polilla de la papa:

Especies de la polilla

- *Phthorimaea operculella*
- *Symmetrischema tangolias*

La polilla de la papa en la zona andina es importante solo a nivel del almacén, en campo se comporta como plaga sin importancia económica, de manera el manejo integrado está dirigido solo para proteger los tubérculos a nivel del almacén. (Enríquez, 1996). citado por **(EGUSQUIZA B.R Y CATALAN B. W, 2011)**

Cosecha

El escarbe o cosecha es la actividad de extracción de los tubérculos. La modalidad de cosecha (mecanizada, con yunta o manualmente) son las más empleadas y la eficiencia de cada una de ellas está determinada por la velocidad de extracción y el porcentaje de tubérculos que se quedan bajo tierra.

La cosecha se realiza cuando la planta está madura, cuando no muestra hojas verdes y, sobre todo cuando los tubérculos están maduros (piel firmemente adherida a la pulpa). **(EGUSQUIZA B.R Y CATALAN B. W, 2011)**

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Durante el desarrollo del trabajo, se determinó cuatro factores de secamiento o agotamiento, el cual se evaluó el tiempo de riego, se determinó la frecuencia de riego y poder determinar que factor de secamiento es más beneficioso en el cultivo de papa, además de la determinación de la demanda hídrica del cultivo que hacen del presente trabajo de investigación, como una investigación del tipo **descriptivo**.

5.1. Periodo y lugar del experimento.

El trabajo de campo se realizó desde el 01 de julio del 2016 hasta el 30 de noviembre del 2016 en el Centro Agronómico K'ayra, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco cuya ubicación es:

- **UBICACIÓN POLÍTICA**

Región : Cusco
Provincia : Cusco
Distrito : San Jerónimo
Localidad : Centro Agronómico Kayra

- **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Longitud W : 71° 52'30"
Latitud Sur : 13°33'24"
Altitud : 3,234.926 msnm
Coordenadas : UTM

La parcela C-2 del trabajo de investigación se encuentra en la zona 18S que tiene como código del sistema de coordenadas de UTM84 –18S.

L UTM-N : 8499342.14N

UTM-E : 188790.002E

Altura-Z : 3234.926 msnm

Ubicación hidrográfica

Cuenca : Vilcanota

Sub cuenca : Huatanay

Micro cuenca : Huanacaure

Zona de vida

De acuerdo a la clasificación ecológica de zonas de vida de Holdridge, el Centro Agronómico K'ayra corresponde a la zona de vida de bosque seco, montano sub-tropical, cuya simbología es bs-MBS

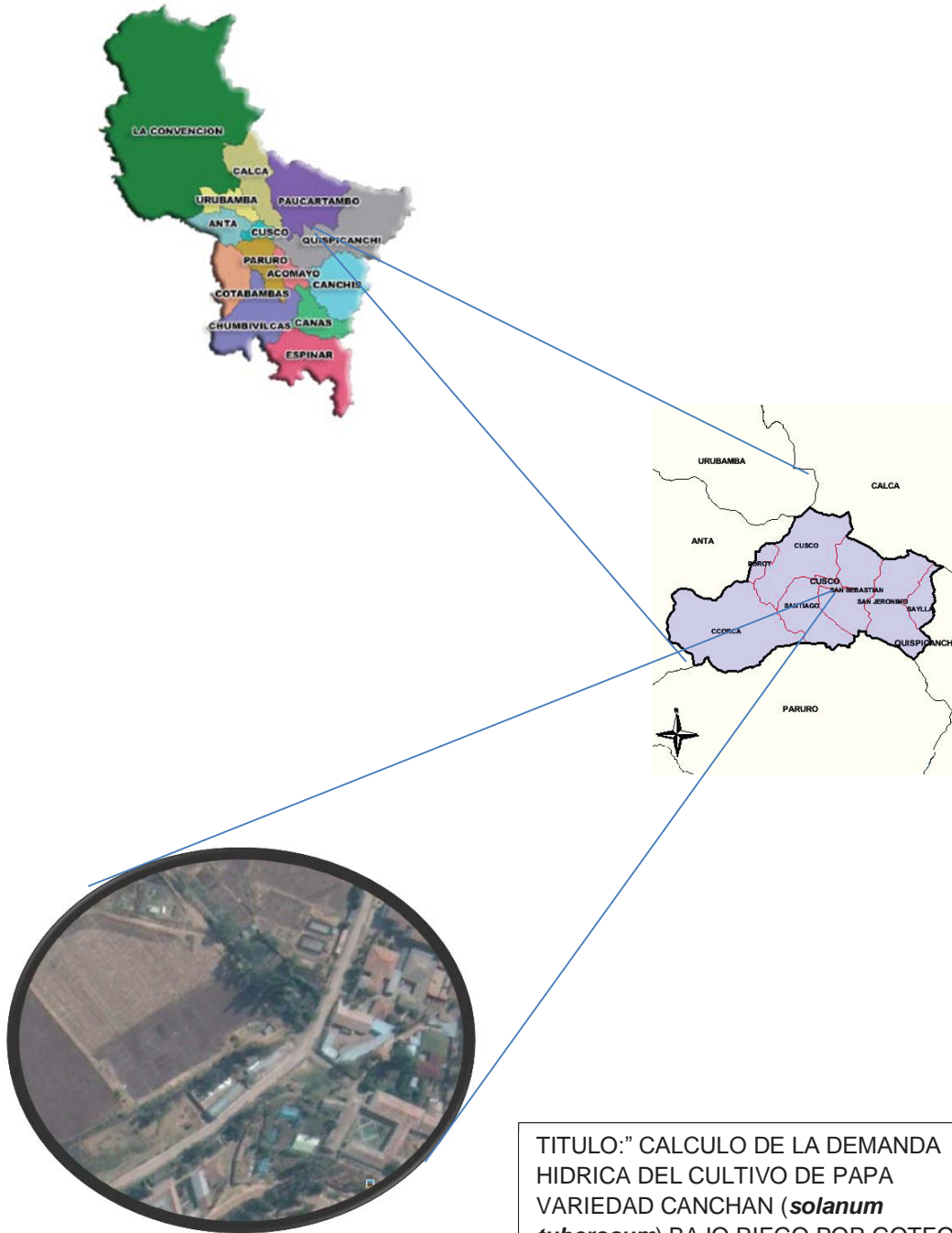
5.2. Historia del terreno.

Campaña 2013-2014	Cultivo de lechuga
Campaña 2014- 2015	Cultivo de papa
Campaña 2015- 2016	Cultivo de betarraga
Campaña 2016	Cultivo de papa

Fuente: elaboración propia

Imagen 2: Ubicación del campo

Plano de ubicación del campo experimental



TITULO: " CALCULO DE LA DEMANDA
HIDRICA DEL CULTIVO DE PAPA
VARIEDAD CANCHAN (*solanum
tuberosum*) BAJO RIEGO POR GOTEO EN
CONDICIONES DEL CENTRO
AGRONOMICO KAYRA SAN JERONIMO-
CUSCO"

Clima

El clima es templado frío con temperatura máxima promedio anual de 16°C y temperatura mínima promedio anual de 8.5°C; una precipitación pluvial anual promedio de 640 mm. **SENHAMI. 2003.**

5.3. Materiales a utilizar

- Mangueras de polietileno de 2"
- Cintas de gotero de 0.30m de distanciamiento
- Acometida.
- Llaves de válvula.
- Manómetro.
- Filtro de anillos.
- Cabezal de riego.
- Enlace mixto
- Unión de 32mm,3/4
- Codo de polietileno 25mmx3/4
- Libreta de campo
- Estacas de madera
- Alambres
- sacabocado
- Yeso

Instrumentos

- Nivel de albañil
- Jalones
- Plano topográfico detallado del lugar
- Cordel

Herramientas

- Pico
- Pala
- Llave inglesa
- Hoja de sierra

Equipos

- Cronómetro
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Tanque clase A

Paquetes de computación

- Programs Microsoft office (Excel, Word, Power point)

Insumos

- Material biológico (semilla) 48kg.
- Fertilizantes
 - Urea, $co(NH_2)_2$: 46%N
 - Fosfato di amónico, $(NH_2)_2HPO_2$: 18%N Y 46% P_2O_5
 - Cloruro de potasio, ClK : 60% de K_2O

5.4. Descripción de las actividades

- Información básica del campo experimental
- **Recurso hídrico**

Se contó con una fuente de agua, que tiene un caudal de 4.5 l/s se ubica en el sector denominado Chanchería, de la cual es captada y conducida hasta la cabecera de parcela del potrero C-2.

- **Topografía**

La extensión total de la Parcela C-2 es de 13515.142 m² con un perímetro de 462.387 m con una pendiente de 2.33 %.

- **Forma del predio**

La Parcela C-2 presenta una forma irregular en su extensión total y para la realización del presente trabajo de investigación, se seleccionó un área de 195.5 m² de forma rectangular.

➤ **Suelos**

Para la determinación de las características del suelo de la Parcela C-2, se procedió a tomar muestra de suelo de lugares representativos a profundidades de 0 a 30 cm, homogenizadas para ser llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias: En los cuadros 2, 3 y 4 se presentan los resultados.

Cuadro 2: Resultados del análisis de fertilidad

N°	CLAVE	mmhos/cm C.E	pH	% MO	% N. TOTAL	Ppm	ppm
						P ₂ O ₅	K ₂ O
1	M-1	0.28	7.80	1.87	0.09	67.5	74

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos y fertilizantes FCA-UNSAAC

Cuadro 3: Resultados del análisis mecánico

N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
1	M-1	39	35	26	FRANCO

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos y fertilizantes FCA-UNSAAC

Cuadro 4: Resultados del análisis de humedad, densidad y porosidad del suelo

N°	CLAVE	% HE	% CC	g/cc Da	g/cc Dr	% PMP	% POROSIDAD
1	M-1	26.03	25.13	1.47	2.53	11.99	41.89

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos y fertilizantes FCA-UNSAAC

Fotografía 1: Muestreo de suelo



5.4.1. Levantamiento topográfico

Los trabajos de levantamiento topográfico se realizaron en el mes de junio.

División de área

Con la ayuda del plano topográfico antes generado se procedió a realizar el demarcado del terreno en un cuadrante de 10 x 17 m con la finalidad de obtener cuatro parcelas de 10 x 4 m, cada parcela tuvo un área de 40 metros cuadrados.

Fotografía 2: preparación del terreno



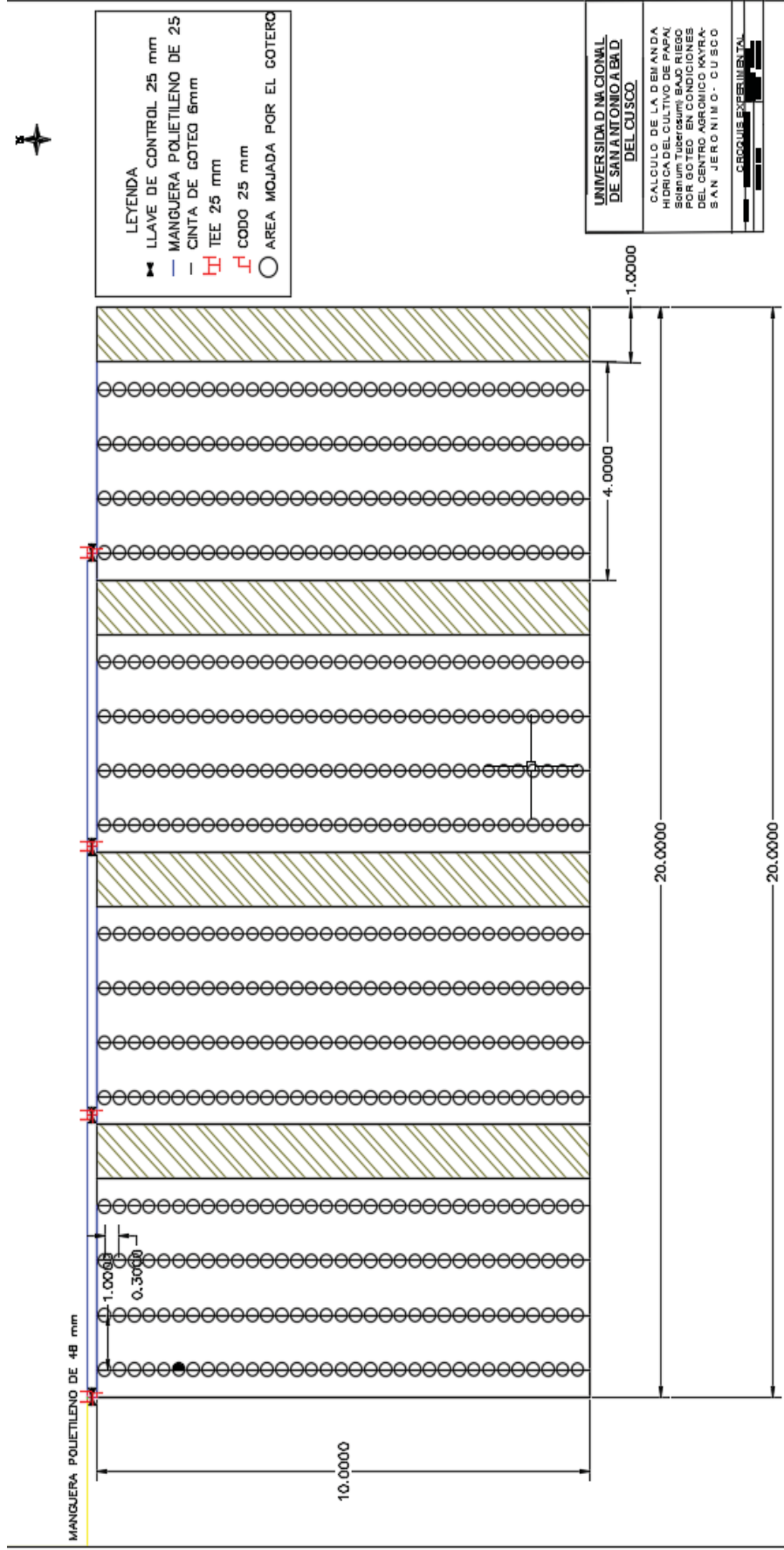
Instalación del sistema de riego por goteo

Una vez determinada el área a instalar el cultivo de papa, se procedió a instalar los laterales de riego. Con sus respectivas llaves de paso es una terciaria que alimenta a las cuatro parcelas, las cintas de goteo con un distanciamiento de 0.3 metros entre plantas y 1 metro entre surco.

Fotografía 3 Instalación de líneas laterales



5.4.2. CROQUIS DE LA INSTALACIÓN



Cuadro 5: Características del campo experimental

CAMPO EXPERIMENTAL	
Largo incluido calles	17.5 m
Ancho incluido calles	11 m
Área total con calles	192.5 m²
Área neta sin calle	160 m²
PARCELA	
N° Parcela	4
Ancho de bloque	4 m
Largo de bloque	10 m
Área por bloque	40 m²
Total	160 m²
SURCOS	
N° de surcos por parcela	4
N° de surcos por campo experimental	16
N° de surcos para evaluar por parcela	3
N° de surcos por evaluar por campo	12
Ancho de surco (doble hilera)	1 m
Largo del surco	10 m
Área del surco	5.7 m²
Área neta de evaluación del campo	68.4 m²
CALLES	
Numero de calles entre parcela	3
Largo de calle	10 m
Ancho de calle	1 m
Área de calles	10 m²
DENSIDAD DE SIEMBRA	
Distanciamiento entre surcos	1 m
Distanciamiento entre plántula	0.3 m
Numero de plántulas por surco.	33
Numero de plántulas por parcela	132
Numero de plántulas por bloque	528

5.5. Metodología de evaluación de la propuesta agronómica.

El diseño agronómico que consiste en determinar ciertos parámetros necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

El método utilizado fue el del tanque evaporímetro clase A,

Para determinar la evaporación por el método del tanque evaporímetro clase A, se hizo uso de los datos meteorológicos.

- **Humedad relativa (%)**

Las lecturas de la estación meteorológica se realizaron tres veces al día, 7.00 horas, 13.00 horas y a las 19.00 horas, la humedad relativa se determinó mediante la media aritmética

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

La lectura de la estación meteorológica se realizó dos veces al día, el primero a las 7.00 horas y la segunda a las 19 horas, el recorrido del viento fue en 24 horas, para fines de estandarización se hizo una corrección del viento a 2 metros de altura, haciendo uso de la **ecuación** siendo el factor de corrección 1.18. **pág. 40**

- **Tablas del coeficiente (kp) de tanque evaporímetro clase A,** para diferentes cubiertas de suelo, niveles de humedad relativa promedio y 24 horas de recorrido de viento corrección del boletín (FAO ,56. - 2006). **Pág. (34)**

Índices técnicos de riego e infraestructura

Se utilizaron las fórmulas de:

- Cálculo de números de emisores por planta y caudal por planta
- Lámina de agua inicial a la profundidad efectiva de la raíz
- Precipitación horaria del sistema de riego (Phr)
- Frecuencia de riego (Fr)
- Tiempo de riego (Tr)

5.5.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia

$$E_{To} = EB \times k_p$$

Donde:

EB = lectura en el vernier del tanque expresado en mm.

K_p = factor de corrección tabla 1.

K_p = es el coeficiente del tanque evaporímetro varía según el distanciamiento del tanque a la parcela, humedad relativa del día y la velocidad del viento.

(pag.34)

Procedimiento para factor de agotamiento 0.25 o 25%

1. Para el primer día de evaluación.

Para determinar la E_{To} , se determinó de la siguiente manera. **(pag.34)**

- Humedad relativa es 34.33%
- Velocidad del viento 7.92 m/s
- Distancia del tanque a la parcela es de 8 m (factor de agotamiento 0.25)

Donde:

$$EB = 4.90 \text{ mm}$$

$$K_p = 0.45$$

$$E_{To} = 4.90 \text{ mm} \times 0.45$$

$$E_{To} = 2.21 \text{ mm/día}$$

Coeficiente de cultivo (K_c)

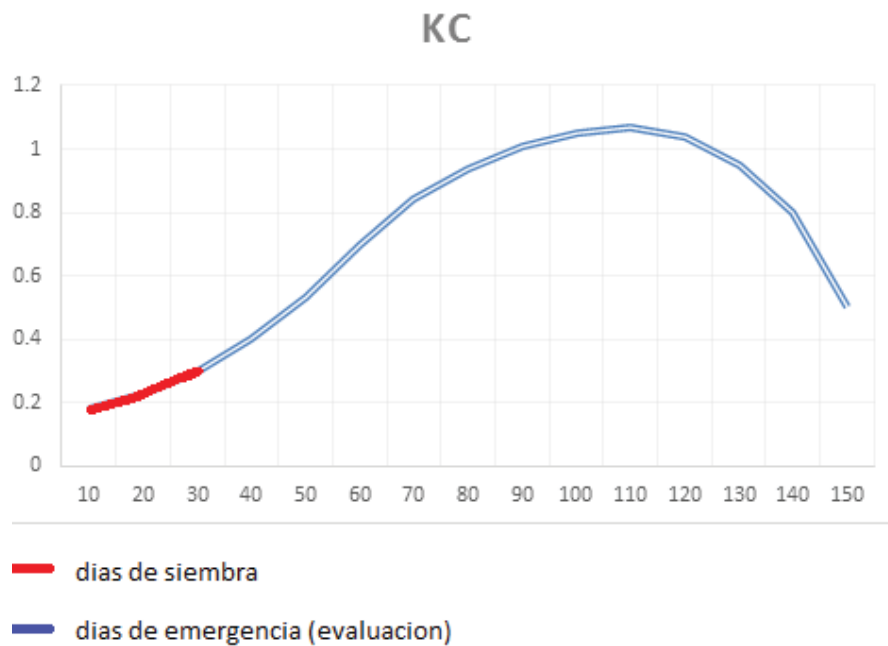
El procedimiento para distribuir el k_c fue dividido en 9 fases, (un sector comprendido de 10 días), debido a que el periodo vegetativo promedio es de 153 días (31 días en pre emergencia y 122 días en desarrollo).

El procedimiento fue el siguiente:

- Estadio I (siembra: 0 – 20%) de siembra corresponde al mes de julio con un k_c promedio de 0.32, obteniéndose la media entre los valores extremos es decir 0.28 y 0.71, labores que no fueron considerados en la planilla de riego.

- Estadio II (emergencia) 20% - 40% de crecimiento: corresponde al mes de agosto con un kc promedio de 0.66 obteniendo la media entre 0.56 y 0.66.
- Estadio III (media estación) 40% - 60% corresponde al mes de septiembre y octubre con un kc promedio de 0.84 obteniendo la media de 0.91 y 0,85.
- Estadio IV (madurez) 60% - 100% corresponde al mes de noviembre con 0.5, hasta la cosecha.

Gráfico 1: Rangos típicos esperados del valor de Kc para los 120 días de Desarrollo.



Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ETc)

Para determinar la ETc, se hace uso de la ecuación (pag.34)

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día).

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Kc = Coeficiente de cultivo.

- Una vez calculado la ETo, procedemos a calcular la ETc.

$$ETc = 2.21 \text{ mm} \times 0.32$$

$$ETc = 0.71 \text{ mm.}$$

5.5.3. Cálculo de láminas de riego

Los parámetros del suelo que deben conocerse para el cálculo de las láminas de riego son las siguientes: capacidad de campo en % (CC), punto de marchitez permanente en % (PMP), densidad aparente del suelo g/cm^3 (Da), y los parámetros del cultivo son: profundidad efectiva radicular (z) en cm y el factor de agotamiento (f) adimensional siempre menor a 1.

Cálculo de la Lámina neta

a) Lámina neta para riego de machaco.

El cálculo de la lámina neta para riego de machaco se realizó a través de la siguiente ecuación: (pag.23)

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z$$

$$Ln = \left(\frac{25.13 \% - 11.99\%}{10} \right) * 1.47 \text{ g/cm}^3 * 42.5 \text{ cm}$$

$$Ln = 82.09 \text{ mm}$$

b) Lámina neta para riego de mantenimiento.

- La lámina aplicación para que el suelo este en capacidad de campo es 13.52 mm. Las plántulas fueron evaluadas con 7 cm de raíz.
- Esta lámina la denominaremos como lamina inicial para fines de cálculo en la planilla de manejo de riego.

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f$$

- La lámina de mantenimiento es diferente para cada parcela porque cada una de estas tiene diferente factor de agotamiento.
- Con el factor de agotamiento de 0.25 experimento para primer día de riego.

$$Ln = \left(\frac{25.13 - 11.99}{10} \right) * 1.47 * 7 * 0.25$$

$$Ln = \mathbf{13.52}$$

$$Lnc = 13.52 * 0.25 = \mathbf{3.38}$$

$$Lnf = 13.52 - 3.38 = \mathbf{10.14mm}$$

Por lo tanto:

$$13.52mm \times 10$$

$$135.2m^3 \text{ ----- } 10000m^2$$

$$x \text{ ----- } 40m^2$$

$$x = \mathbf{54.08m^3/40m^2}$$

- Con el factor de agotamiento de 0.35 propuesto por la FAO para el primer día de riego.

$$Ln = \left(\frac{25.13 - 11.99}{10} \right) * 1.47 * 7 * 0.35$$

$$Ln = 13.52$$

$$Lnc = 13.52 * 0.35 = 4.73$$

$$Lnf = 13.52 - 4.73 = 8.79\text{mm}$$

Por lo tanto:

$$13.52\text{mm} \times 10$$

$$135.2\text{m}^3 \text{ ----- } 10000\text{m}^2$$

$$x \text{ ----- } 40\text{m}^2$$

$$x = 54.08\text{m}^3/40\text{m}^2$$

- Con el factor de agotamiento de 0.45 experimento para primer día de riego.

$$Ln = \left(\frac{25.13 - 11.99}{10} \right) * 1.47 * 7 * 0.45$$

$$Ln = 13.52$$

$$Lnc = 13.52 * 0.45 = 6.084$$

$$Lnf = 13.52 - 6.084 = 7.44\text{mm}$$

Por lo tanto:

$$13.52\text{mm} \times 10$$

$$135.2\text{m}^3 \text{ ----- } 10000\text{m}^2$$

$$x \text{ ----- } 40\text{m}^2$$

$$x = 54.08\text{m}^3/40\text{m}^2$$

- Con el factor de agotamiento de 0.55 experimento para primer día de riego.

$$Ln = \left(\frac{25.13 - 11.99}{10} \right) * 1.47 * 7 * 0.55$$

$$Ln = 13.52$$

$$Lnc = 13.52 * 0.55 = 7.44$$

$$Lnf = 13.52 - 7.44 = 6.08\text{mm}$$

Por lo tanto:

13.52mm x10

135.2m³ -----10000m²

x----- 40m²

$$x = 54.08\text{m}^3/40\text{m}^2$$

Lamina bruta aplicada en riego por goteo.

La lámina bruta de riego por goteo se calcula con la ecuación: **(pág. 23)**

$$L_{bg} = \frac{L_{ng}}{E_r}$$

Donde:

L_{bg} = lamina bruta de riego por goteo.

L_{ng} = lamina neta de riego por goteo.

E_r = eficiencia de riego.

- En el cuarto día en la parcela con factor de agotamiento 0.25, se realizó el primer riego.

Donde:

L_{ng} = 13.52 mm

E_r = 95 %

Para realizar los cálculos de lámina bruta aplicada es necesario saber la eficiencia de nuestro sistema de riego por goteo.

$$L_{bg} = \frac{13.52 \text{ mm}}{0.95}$$

$$L_{bg} = 14.23 \text{ mm}$$

- La lámina aplicada mediante el sistema de riego por goteo es de 14.23mm.

5.5.4. Tiempo de riego.

El tiempo de riego expresado en horas se calcula con la ecuación. (pág. 24)

Donde:

Tr = tiempo de riego en horas.

Lbg = lamina bruta en riego por goteo en mm.

Ipp = intensidad de precipitación de emisores en mm/hr.

LL = longitud total en lateras por hectárea en m.

NLn = número de lateras por hilera de plantas.

Sh = separación entre hileras de plantas en m.

Se = separación entre emisores en m.

Qe = caudal del emisor. En l/hr.

$$Tr = \frac{Lbg}{Ipp} \quad Ipp = \frac{LLxQe}{10000 x Se} \quad LL = \frac{10000}{Sh}NLh$$

$$LL = \frac{10000 \text{ m}^2}{1} X 1 ; LL = 10000 \text{ m}$$

$$Ipp = \frac{10000 \text{ m} x 1 \text{ l/h}}{10000 x 0.3 \text{ m}} ; Ipp = 3.33 \text{ mm/h}$$

$$Tr = \frac{14.23 \text{ mm}}{3.33 \text{ mm/h}} ; Tr = 4 \text{ horas } 16 \text{ minutos}$$

- Para el mes de agosto, el segundo riego (riego de mantenimiento) se realizó el primer día de la emergencia para el factor de agotamiento de 0.25, el tiempo de riego fue de 4 horas con 16 minutos.

5.5.5. Dosis de riego

La dosis neta de riego se calculó utilizando la ecuación. (pág. 22)

$$D_{rn} = 10 x L_n \quad D_{br} = \frac{D_{rn}}{E_r}$$

D_{rn} = dosis neta de riego en m³/ha.

D_{br} = dosis bruta de riego en m³/ha.

E_r = eficiencia de riego

L_n = lamina neta en mm.

- La lámina neta para el factor de agotamiento 0.25 fue de 38.09 mm. La lámina promedio fue de 7.62 mm. aplicada en los 15 días después de la evaluación de la profundidad de la raíz, durante estos primeros días se aplicaron 5 riegos.

Para los 15 primeros días la $D_{rn} = 10 \times 7.62 \text{ mm}$. $D_{rn} = 76.2 \text{ m}^3/\text{ha}$.

La dosis bruta de riego fue calculada con: $D_{br} = 38.09/0.95$

$D_{br} = 40.09 \text{ m}^3/\text{ha}$.

5.5.6. Frecuencia de riego

La frecuencia o intervalo de riego es el lapso de tiempo que será necesario esperar para realizar un nuevo riego, en el presente trabajo de investigación los datos meteorológicos están influenciados por el clima cambiante de cada día, siendo un método directo de investigación, para el factor de agotamiento 0.25 este fue su comportamiento.

- Para la lámina de riego se consideró el promedio de los primeros 15 días del mes de agosto siendo este 7.62 mm. lamina aplicada.
- Para la evapotranspiración del cultivo, de los primeros 15 días del mes de agosto se consideró el promedio de la evapotranspiración diaria siendo esta 2.04 mm/día

La frecuencia o intervalo de riego para los primeros 15 días después de la primera evaluación del mes de agosto fue calculado utilizando la ecuación.

(pag.24)

$$Fr = \frac{Lng}{cd} \quad Fr = \frac{7.62 \text{ mm}}{2.04 \text{ mm/día}} \quad Fr = 3 \text{ días.}$$

- Numero de riegos.

Para calcular el número de riegos por 15 días se utilizó la expresión siguiente:

$$Nr = \frac{DM}{Fr}$$

Para los primeros 15 días después de la evaluación de la raíz para el factor de

agotamiento 0.25 el número de riegos es:

$$Nr = \frac{15 \text{ días}}{3 \text{ días}} \quad Nr = 5 \text{ riegos.}$$

5.5.7. Volumen de riego.

El volumen de riego se calculó con la ecuación. **(pag.25)**

$$Vr = Dbr \times Nr$$

Para los primeros 15 días después de la evaluación de la profundidad de la raíz con factor de agotamiento 0.25 (Experimento) el volumen de riego es : $Vr = 40.09 \text{ m}^3/\text{ha} \times 5 = 200.45 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Numero de emisores por planta

Es la cantidad de goteros que existe por golpe, en el caso de cultivos anuales generalmente se utiliza un emisor por planta mientras que en cultivos permanentes como los frutales suele utilizarse más de un emisor por planta.

5.5.8. Consumo diario.

A través de las lecturas del Tanque Clase A, se determinó la ETc diariamente, lo que correspondería al consumo diario de agua por parte del cultivo de papa.

5.5.8.1. Número de riego por mes

El número de riegos por mes, se obtuvo de la simple contabilización del número de riegos efectuados por cada día detallada en la planilla de manejo de riego.

Cuadro 6: Planilla de manejo de riego

PLANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO													
Provincia :		Ln (inicio): 13.52 Mm			Área del terreno:								
Distrito :		Ln (fin): 10.14 Mm			Cultivo:								
Comunidad C. :		Eficiencia: 95 %			Responsables:								
Sector :		Fecha siembra:											
DDS	V (m/s)	HR %	Kp	Ev (mm)	ETo	Kc	ETc (mm)	Ganancia de agua			Consumo de agua		
								Lluvia	Riego necesario (mm)	Riego a aplicar (mm)	Ln – Inicio	Ln - Fin	

Fuente. Manual técnico de riego presurizado (Baca, 2013)

- En la planilla de manejo de riego del cuadro 6, se puede apreciar que el valor de 13.52 mm corresponde a la lámina neta a aplicar que para fines de cálculo se utilizó como lámina de inicio. La lámina de 10.14 mm (Lámina neta final), se obtiene de la diferencia de la lámina neta de riego de machaco y la lámina neta del riego de mantenimiento que es de 3.38 mm

Además, se muestra el valor de la eficiencia de riego de 95 % que fue obtenido de la simulación con el modelo WinSRFR.

- Para la determinación de coeficiente del tanque (kp), se utilizaron los datos climáticos de humedad relativa (HR) y velocidad de viento. El valor kp es multiplicado por la evaporación (Ev) del tanque medida diariamente para determinar la ETo que multiplicado por el Kc del cultivo de papa, se determina la ETc diaria del cultivo.
- La ETc obtenida se resta del valor de la lámina neta inicial para obtener el valor de la lámina neta final. El valor máximo al cual debe disminuir la lámina neta final corresponde al valor de 10.41 mm, llegado a este valor se procede a regar el cultivo.

- Cuando se presentan precipitaciones, este si son mayores a 5 mm se le añade a la lámina final, si son menores de 5 mm estas lluvias se les considera nulas.
- **Fertilización**

La fertilización se realizó el 01 de julio del 2016 al momento de la siembra.

Fotografía 4: Fertilización en la siembra



- **Aporque**

El primer aporque se realizó en forma manual, el 31 de agosto del 2016, con la finalidad de evitar la competencia de nutrientes de las plantas atípicas.

El segundo aporque se realizó manualmente el 08 de octubre del 2016 con la finalidad de que los estolones sean protegidos en el mismo surco.

- **Control de malezas**

El control de malezas se realizó en forma manual, debido a que fueron áreas pequeñas del campo experimental. Esta actividad se realizó durante 3 oportunidades durante el desarrollo vegetativo del cultivo de papa.

Cuadro 7: Registro de malezas en el campo experimental

Nombre vulgar	Nombre científico	familia
Yuyo o nabo	<i>Brassica campestris</i>	Brassicaceae
Lengua de vaca	<i>Plantago sp</i>	Plantaginaceae

- **Plagas**

En el presente trabajo, se registró la presencia de *Trips Sp.* sin embargo la incidencia de esta plaga no ocasionó daños por encima del umbral económico.

- **Enfermedades**

En cuanto se refiere a enfermedades se registró al hongo *Esclerotinia sp.* la presencia de esta enfermedad no causó daños de importancia económica.

Fotografía 5: Enfermedad del cultivo de papa



- **Control fitosanitario**

El control de plagas y enfermedades no se realizó, porque no hubo presencia significativa de incidencias de plagas y enfermedades de importancia económica.

- **Cosecha y evaluación**

La cosecha del cultivo se realizó el 9 de diciembre del 2016, los últimos días se le quitó el riego para que madure el cultivo.

Fotografía 6: Peso de la producción de cada parcela experimental



5.6. Variables evaluadas

5.6.1. Evaporación del agua.

Para determinar la evaporación del agua se realizó lecturas diarias a las 7.00 am, del tanque evaporímetro Clase A. posteriormente se corrigió en la planilla de riego con la tabla n° 5 con su respectivo factor de corrección del tanque en mm/día.

Fotografía 7: Tanque evaporímetro clase A.



5.6.2. Profundidad de raíz

Para determinar la lámina de riego se midió la raíz del cultivo de papa cada 15 días, escogiendo al azar dos plantas por parcela, durante todo el ciclo vegetativo.

Fotografía 8: Evaluación de la profundidad de la raíz.



5.6.3. Rendimiento por hectárea

Para calcular el rendimiento expresado en Kg por hectárea, se determinó primero el peso de cada parcela evaluada, posteriormente estos valores fueron convertidos a Kg/ ha.

5.7. Diseño experimental

En el trabajo de investigación se utilizó una correlación, se evaluó cuatro parcelas experimentales, durante la instalación del experimento las parcelas fueron distribuidas en una fila del factor de agotamiento con el rendimiento de cada parcela.

Tabla 5: Factores de agotamiento en estudio

N° BLOQUE	F (factor de agotamiento)	FUENTE
I	0.25	(**)Factor de agotamiento propuesto
II	0.35	(*)Manual de Evapotranspiración-FAO, boletín n°56..
III	0.45	(**)Factor de agotamiento propuesto
IV	0.55	(**)Factor de agotamiento propuesto.

Fuente: Manual de Evapotranspiración, FAO – 2003 Propuesto para el presente trabajo

Fotografía 4: Cultivo en pleno desarrollo.



5.8. Evaluación de la demanda hídrica.

En el presente trabajo de investigación se calculó la demanda hídrica del cultivo de papa, por el método del tanque evaporímetro clase A.

- Se procedió a sumar todas las láminas de riego a aplicar, desde el primer riego hasta el último.

Cuadro 8: Demanda hídrica y precipitación efectiva

factor de agotamiento	lamina aplicada en 153 días	precipitación durante los 153 días	precipitación efectiva	lamina neta consumida en los 153 días
0.25	248.48	42.90	15.74	264.22
0.35	250.10	42.90	15.74	265.84
0.45	289.19	42.90	15.74	304.93
0.55	242.94	42.90	15.74	258.68

Fuente. Elaboración propia

- Determinación de la precipitación efectiva, la lámina de precipitación fue menor a 75 mm.

$$PE = 0.6P - 10$$

$$PE = 0.6 (42.90 \text{ mm} - 10)$$

$$PE = 15.74 \text{ mm}$$

- La precipitación fue de 58.100 mm durante los 122 días de desarrollo vegetativo del cultivo de papa, la precipitación efectiva fue 15.74 mm

5.8.1. Evaluación del factor de agotamiento

- En el presente trabajo de investigación se plantearon cuatro factores de agotamiento diferentes entre sí.
 - **Factor de agotamiento 0.35**, propuesto por la FAO – 2003, factor de agotamiento para una evapotranspiración igual a $5\text{mm}/\text{dia}^{-1}$. el cultivo de papa puede perder el 35% de agua de su capacidad de campo, quedando solo el 70% y con este porcentaje de agua se obtiene un rendimiento óptimo, no entra en estrés hídrico, la producción del cultivo de papa no se ve afectada por esta pérdida.
 - **Factor de agotamiento 0.25**, factor de agotamiento en experimento. El factor de agotamiento 0.25 es un resultado de La evapotranspiración de $6.2 \text{ mm}/\text{dias}^{-1}$ (evapotranspiración tentativa del centro agronómico kayra), con ayuda de la ecuación el factor de agotamiento para una evapotranspiración de $6\text{mm}/\text{dia}^{-1}$ es 0.25. El cultivo de papa puede perder el 25 % de agua de su capacidad de campo, quedando solo el 75 % y con este porcentaje de agua se

obtiene un rendimiento óptimo, no entra en estrés hídrico, la producción del cultivo de papa no se ve afectada por esta pérdida del 25 % de agua.

- **Factor de agotamiento 0.45**, factor de agotamiento en experimento.

El factor de agotamiento 0.45 es un resultado de la evapotranspiración de 2.5 mm/día^{-1} , con ayuda de la ecuación, el factor de agotamiento para una evapotranspiración de 2.5 mm/días^{-1} es 0.45 el cultivo de papa puede perder el 40 % de agua de su capacidad de campo, quedando solo el 60 % y con este porcentaje de agua se obtiene un rendimiento óptimo, no entra en estrés hídrico, la producción del cultivo de papa no se ve afectada por esta pérdida del 40 % de agua.

- **Factor de agotamiento 0.55**, factor de agotamiento en experimento.

El factor de agotamiento 0.55 es un resultado de la evapotranspiración de 1.4 mm/día^{-1} , con ayuda de la ecuación, el factor de agotamiento para una evapotranspiración de 1.4 mm/días^{-1} es 0.55 el cultivo de papa puede perder el 55 % de agua de su capacidad de campo, quedando solo el 45 % y con este porcentaje de agua se obtiene un rendimiento mínimo, entra en estrés hídrico, la producción del cultivo de papa se ve afectada por esta pérdida del 55 % de agua.

Fotografía 5: Rendimiento por cada factor de agotamiento



5.9. Rendimiento del cultivo de papa

La cosecha del cultivo de papa se realizó el 9 de diciembre del 2016, Para calcular el rendimiento del cultivo, de las diferentes parcelas se seleccionó un metro cuadrado de cada parcela experimental.

Cuadro 9: Rendimiento por cada factor de agotamiento.

rendimiento del cultivo de papa en Kg.			
factor de agotamiento (f)	1 m ²	40 m ²	10000 m ²
0.25	3.999	159.96	39990
0.35	3.985	159.4	398550
0.45	3.482	139.28	34820
0.55	3.375	135	33750

Fuente. Elaboración propia

El factor de agotamiento que logro alcanzar mayor rendimiento por hectárea fue 0.25, llegando a producir 39990 kg/ha, el factor de agotamiento quien alcanzo menor rendimiento por hectárea fue 0.55, quien alcanzo 33750 kg/ha.

Fotografía 6: Área representativa para determinar el rendimiento.



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados de la demanda hídrica del cultivo de papa en la Parcela C-2.

El periodo total del cultivo de papa duró 153 días inicio el día 01 del mes de julio, 30 días del mes de Setiembre, 31 días del mes de octubre y 30 de noviembre tiempo en el que termino las evaluaciones, y se le quito el riego para que pudiera madurar, la cosecha se realizó el 09 de diciembre del 2016.

Cuadro 10: Demanda hídrica para los cuatro factores de agotamiento.

factor de agotamiento	lamina aplicada en 153 días	precipitación efectiva	lamina neta consumida en los 153 días
0.25	248.48	15.74	232.74
0.35	250.10	15.74	234.36
0.45	289.19	15.74	273.45
0.55	242.94	15.74	227.2

Fuente. Elaboración propia

- El objetivo de calcular la demanda hídrica del cultivo de papa, fue determinar la cantidad de agua que consume el cultivo de papa en todo su ciclo vegetativo expresado en mm, L o m^3 por hectárea.
- Cabe mencionar en trabajos similares en cuanto a la demanda hídrica existe en la variedad Silver realizado por Canllahui (2013) obteniendo una lámina consumida de $3383.6 m^3/ha$.
- La demanda hídrica total del cultivo de papa, fue de 248.48 mm que significó un consumo total de agua las cuales $2327.4 m^3/ha$ fueron aplicados como agua de riego, $154.4 m^3/ha$ fue incorporada por las precipitaciones.
- La cantidad de agua de $2484.8 m^3/ha$, significó que es el total de volumen de agua que debe ser aplicado para obtener rendimientos óptimos, para que el cultivo no sea afectado por el estrés hídrico.

6.2. Resultados de la evaluación del riego

La evaluación de la profundidad de la raíz cada 15 días, fue útil para poder determinar la lámina de riego a aplicar. Posterior se registró en la planilla de

riego de cada factor de agotamiento, siendo diferente la lámina de riego, tiempo y frecuencia de riego, en cada una de las parcelas experimentales.

El primer riego de machaco fue una sola para todas las parcelas, posteriormente la lámina de riego fue variando de acuerdo a la profundidad de la raíz y el factor de agotamiento que cada parcela posee.

Cuadro 11: Número de riegos durante su desarrollo vegetativo del cultivo de papa.

Mes	Numero de riegos/ mes				Tiempo de riego/mes			
	0.25	0.35	0.45	0.55	0.25	0.35	0.45	0.55
Agosto	8	6	5	5	19 h 54min	21 h 27 min	31 h 51 min	22 h 27 min
Septiembre	6	4	4	3	26 h 9min	28h 59 min	26 h 51 min	30 h 56 min
Octubre	3	3	2	2	19 h 29 min	20h 44 Min	23 h 54 min	19 h 30 min
Noviembre	2	1	1	0	8 h 15 min	8h 10 min	13h 16 min	0

Fuente. Elaboración propia

6.3. Resultados del factor de agotamiento en el cultivo de papa

El objetivo de calcular el factor de agotamiento óptimo para el cultivo de papa significo experimentar con tres factores de agotamiento distintos al que propone la FAO, esto significo para el riego por goteo diferentes tiempos y frecuencia de aplicación.

Previamente se realizaron trabajos preliminares en la planilla de riego como el cálculo del tiempo de riego y la frecuencia de riego. La cantidad de agua que consume el cultivo de papa durante su ciclo vegetativo con diferentes factores de agotamiento.

- El factor de agotamiento que consumió mayor cantidad de agua de riego fue 0.45 llegando a consumir 2891.9 m³/ ha y el factor de agotamiento

que consumió menor cantidad de agua fue 0.55 llegando a consumir 2429.4 m³/ha, teniendo una diferencia con el primero de 462.5 m³/ha.

- El factor de agotamiento 0.25 cuya evapotranspiración el primer día fue 0.71 mm/día⁻¹ y el factor de agotamiento 0.35 cuya evapotranspiración fue 0.71 mm/día⁻¹ son experimentos en campo que corrobora , el factor de agotamiento serán mayores a menores tasas de evapotranspiración de cultivo, que a tasas altas como ocurre con el factor de agotamiento 0.25 y 0.35.

6.4. Resultados del rendimiento del cultivo de papa

- Cabe mencionar que en trabajos similares en cuanto al rendimiento en el cultivo de papa de papa variedad cica obtuvo un promedio de 58177kg/ha realizado por Rosales (2007).
- Para la evaluación del rendimiento, se estimó en kg/ha tomando en cuenta desde el tubérculo más grandes hasta el más pequeño.
- En el cuadro 9, se observa el rendimiento obtenido para el cultivo de la papa variedad canchan con el sistema de riego por goteo instalado en el centro agronómico Kayra- San Jerónimo – Cusco, durante la campaña agrícola 2016.

VII. CONCLUSIONES

1.- Con la ayuda del Tanque Clase A y la planilla de manejo de riego se calculó la demanda hídrica del cultivo de papa es de 2642.2 m³/ha, el cual es requerido durante una etapa de desarrollo de 153 días. El cálculo de la demanda hídrica se realizó desde la emergencia del cultivo hasta la madurez.

2.- El cultivo de papa no puede perder más del 25 % de agua de su capacidad de campo. Niveles por debajo de este porcentaje, reducen el rendimiento del cultivo de papa.

3.- el rendimiento del cultivo de papa variedad canchan, fue de 39990 kg/ha con el factor de agotamiento de 0.25.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación con factores de agotamiento menores de los que propone la FAO.
2. evaluar las ventajas y desventajas económicas que tiene el riego por goteo.
3. Se recomienda que, al momento de sacar la muestra de suelo, para ser llevado al laboratorio sea homogenizado.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- BACA GARCIA, Carlos Jesús. (2013). *Manual tecnico de riegp presurizado*. Cusco, Peru.
- BUSTAMANTE J.A. (1996). *Manual de Obras Menores de Riego, Comision Nacional de Riego, Universidad de Concepcion*,. Chile: Antartica S.A.
- CASTAÑÓN G. (2000). *ingenieria del Riego. Utilizacion Racional del Agua*. Madrid, España: Spain Paraninfo S.A.
- CISNEROS A.R. (2003). *Apuntes de la materia y drenaje*.
- EGUSQUIZA B.R Y CATALAN B. W. (2011). *Guia Tecnica Curso Taller Manejo Integrado de Papa*. UNALM -AGROBANCO.
- EGUSQUIZA, R. (2000).
- EGUSQUIZA, R. Y. (2011).
- FAO. (2006). *Boletin 56, estudio Riego y Drenaje*.
- FAO. (2008).
- FAO. (2012). *Boletin 66, Estudio Riego y Drenaje, Respuesta de los Rendimientos de l Cultivo al Agua*.
- FONSECA, C. (1997). *Desempenho do regime de vazao continuamente reduzida en irrigacao por sulcos*. Botucatu, Sao Paulo, Brasil.
- FUENTES Y.J.L. (2003). *Tecnicas de riego*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- GARAY C.O. (2009). *Manual de Uso Consuntivo del Agua para los Principales Cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. Huancayo, Peru.
- Guia tecnica manejo integrado de papa*. (2011). UNALM- AGROBANCO.
- JARA R.J Y VALENZUELA A.A. (1998). *Necesidades de Agua de los Cultivos, Comision Nacional de Riego, Universidad de Concepcion* . Chile.
- JIMENEZ A.C. (2010). *Tuberosas y Raices. Texto universitario FAZ- UNSAAC*-. Cusco.
- LESUR L. (2006). *Manual Riego Agricola una Guia de paso*. Trillas, S.A.
- MARTINEZ B.L. (1998). *Manual de Fertirrigacion, Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigacion Intihuasi*. Chile: Cromograf Ltda.
- MARTINEZ L. (2001). *Manual de Operacion y Manutencion de Equipos de*

Riego Presurizado, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigacion Intihuasi. Chile: Boletin INIA N° 56.

OLARTE H.W. (1987). *Manual de Riego por Gravedad, Serie Manuales Tecnicos N°1, Comision de Coordinacion de Tecnologia Andina (CCTA). LIma.*

OLARTE W. (2003). *Proyecto Masal, Manual de Diseño y Gestion de Sistemas de Riego por Aspersion en Laderas. Dannys Graff. Cusco.*

PINO M.T Y BARRERA C.M. (1996). *Riego Localizado para Magallanes, Cartilla Divulgativa N° 14, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigacion Intihuasi. Chile: Lorena Mardones.*

PIZARRO C.F. (1996). *Riegos Localizados de Alta FRecuencia (RLF), Goteo, Micro aspersion, Exudacion (3ra ed.). España: Prensa. Bilbao.*

RICASCA Z.M.A. (2000). *Evaluacion de Tres Fraccionamientos del Nivel de Fertilizacion 160-160-140 Mediante Fertirrigacion en el Cultivo de Papa. Cusco: Tesis Universidad Nacional De San Antonio Abad del Cusco.*

SANTOS P.L. (2010). *El Riego y sus Tecnologias. UCLM.*

SANTOS P.L ET AL. (2010). *El Riego y sus Tecnologias. UCLM.*

VALVERDE C.J.C. (2007). *Riego y Drenaje 2°Reimp. Costa Rica: 1° Edicion - San Jose C.R. EUNED.*

X. ANEXOS