

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**“MANEJO DEL RIEGO DEL CULTIVO DE CAMOTE
(*Ipomoea batatas*) EN EL PROGRAMA DE HORTALIZAS
DE LA UNALM”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

CARLOS JUSTINO RAMÍREZ MENDOZA

LIMA – PERÚ

2023

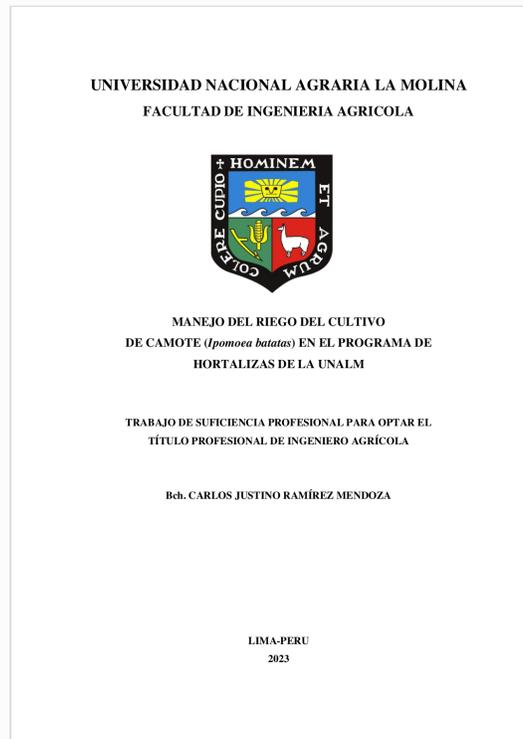


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Carlos Ramirez
Título del ejercicio: TSP Manejo del Riego por Goteo para el Cultivo de Camote
Título de la entrega: Carlos Ramírez Mendoza_TSP.pdf
Nombre del archivo: Carlos_Ramírez_Mendoza_TSP.pdf
Tamaño del archivo: 2.21M
Total páginas: 70
Total de palabras: 14,575
Total de caracteres: 68,605
Fecha de entrega: 01-abr.-2024 08:40p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2337413230



INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	espanol.libretexts.org Fuente de Internet	<1%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1%
3	docslide.us Fuente de Internet	<1%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	transicionagroecologica.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
6	www.agronegocios.gob.sv Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de Frontera Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad de Guadalajara Trabajo del estudiante	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MANEJO DEL RIEGO DEL CULTIVO DE CAMOTE (*Ipomoea
batatas*) EN EL PROGRAMA DE HORTALIZAS DE LA UNALM”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. CARLOS JUSTINO RAMÍREZ MENDOZA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Adm. Armenio Flaubert Galíndez Oré
Presidente

Mestre Jorge Luis Díaz Rimarachín
Asesor

Mg. Sc Judith María Ramírez Candia
Miembro

Dra. Taícia Helena Negrin Marques
Miembro

LIMA – PERÚ
2023

AGRADECIMIENTO

A mi familia, mi madre Agustina, a mis hermanos José, Roberth por su incondicional apoyo a mi compañera de vida María Inés, a mi hijo David que a pesar de la distancia siempre me apoyaron.

Mg Sc. Andrés Virgilio Casas Díaz, Decano de la Facultad de Agronomía y al jefe del área experimental del huerto de la UNALM por su constante apoyo.

A Marcelino, Julia, Haydée y Miguel, personal del laboratorio de Nematología y al técnico Alan Santibáñez por la ayuda brindada.

A mi compañera de trabajo Kari Flores participante del proyecto de riego en camote, su colaboración y esfuerzo en este trabajo en campo para lograr este objetivo. Al Profesor Juan Juscamaita, al Ing. Fernando Paz por su apoyo y colaboración.

A Ing. Mestre Jorge L. Díaz Rimarachín por su asesoramiento y su constante apoyo en la formulación y redacción del presente trabajo de suficiencia profesional.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática.....	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo general.....	1
1.2.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Sistema de riego por goteo	3
2.2. Componentes del equipo de riego por goteo	3
2.2.1. Unidad de presión	3
2.2.2. Cabezal de riego	3
2.2.3. Tuberías de conducción	5
2.2.4. Instalación de sistema de control secundario.....	5
2.2.5. Laterales de riego.....	5
2.2.6. Laterales terciarias	6
2.2.7. Emisor.....	6
2.3. Conceptos básicos en la ingeniería de riego.....	7
2.3.1. Eficiencia de riego	7
2.3.2. Eficiencia de riego en goteo.....	8
2.3.3. Propiedades físicas del suelo	9
2.3.4. Bulbo húmedo.....	12
2.4. Estimación del patrón mojado.....	13
2.4.1. Lámina almacenable	13
2.4.2. Profundidad de mojado (Pm).....	13
2.4.3. Cálculo del porcentaje mojado (Ph)	13
2.5. Necesidades de riego de los cultivos	14
2.5.1. Evapotranspiración	14
2.5.2. Evapotranspiración de referencia (ETo).....	15
2.5.3. Coeficiente del cultivo	17
2.5.4. Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	18
2.6. Contenidos de humedad del suelo relacionados con el riego	18

2.6.1. Precipitación efectiva.....	18
2.6.2. Umbral de riego (Ur)	18
2.6.3. Lámina neta máxima (dn).....	19
2.6.4. Frecuencia de riego (Fr).....	19
2.6.5. Lámina neta aplicación o riego (dn)	19
2.7. Contenido de agua en el suelo	19
2.7.1. Formas de expresar el contenido de agua en el suelo.....	19
2.8. Estados del agua en el suelo	21
2.9. Infiltración del agua en el suelo.....	21
2.9.1. Factores que determinan la infiltración	22
2.10. Ecuaciones empíricas de la velocidad del agua en el suelo.....	22
2.11. Pérdidas de agua en las plantas	23
2.12. Cultivo del camote (Ipomoea batatas).....	24
2.12.1. Utilización del camote	24
2.13. Manejo del agua en la producción del camote	24
2.14. Curva de crecimiento del camote	25
2.14.1. Primera fase de crecimiento.....	26
2.15. Esqueje o semilla del camote.....	27
2.16. Riego.....	28
2.17. Fertilización	28
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	30
3.1. Ubicación de los campos experimentales.....	30
3.2. Clima	30
3.3. Metodología.....	31
3.3.1. Evaluar el funcionamiento de la Subunidad de Riego caracterizada en el área	31
3.3.2. Evaluar los valores de uniformidad en la aplicación del agua en el cultivo.....	34
3.3.3. Evaluar las necesidades hídricas en el cultivo del camote durante su desarrollo	39
3.3.4. Evaluar y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y resultados del riego	40
3.3.5. Determinar el rendimiento de producción por el uso tecnificado del riego	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Evaluar el funcionamiento de la subunidad de riego caracterizada en el área.....	43
4.1.1. Evaluación del bulbo húmedo	43

4.1.2. Calcular la demanda de agua y tiempo de riego por cinta	44
4.1.3. Volumen de agua a aplicar para reponer el agua perdida por evapotranspiración	44
4.1.4. Lámina bruta (Lb)	44
4.1.5. Cálculo del tiempo de riego (Tr)	45
4.1.6. Cálculo del gasto por área por hora	45
4.1.7. Cálculo número de goteros	45
4.2. Evaluar los valores de uniformidad en la aplicación del agua en el cultivo	48
4.2.1. Evaluación de la uniformidad de riego	48
4.3. Evaluar las necesidades hídricas en el cultivo de camote durante sudesarrollo.	49
4.3.1. Evapotranspiración de referencias (ETr)	49
4.3.2. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)	50
4.3.3. Evapotranspiración del cultivo (Etc.)	51
4.4. Evaluar y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y resultados del riego	52
4.5. Determinar el rendimiento de producción por el uso tecnificado del riego	53
4.5.1. Análisis de cosecha	53
V. CONCLUSIONES	55
VI. RECOMENDACIONES	57
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
VIII. ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características hidráulicas de la cinta de riego.....	6
Tabla 2: Valores de Efa en climas áridos	7
Tabla 3: Valores de Efa en climas húmedos.....	8
Tabla 4: Valores de eficiencias según su método de riego	8
Tabla 5: Densidad Aparente para Diferentes Suelos	11
Tabla 6: Coeficientes de cultivos (Kc) de algunos cultivos	17
Tabla 7: Rangos de Velocidad de infiltración de acuerdo a supermeabilidad.....	21
Tabla 8: Especificaciones técnicas de cinta gotero.....	37
Tabla 9: Categoría para e valuar el coeficiente de uniformidad	38
Tabla 10: Categoría para evaluar el coeficiente de variabilidad.....	38
Tabla 11: Clasificación del rendimiento de raíces reservantes.....	42
Tabla 12: Características iniciales para la prueba.....	43
Tabla 13: Características obtenidas para el bulbo húmedo	43
Tabla 14: Tiempos de riego, láminas y volúmenes aplicados por etapas fenológicas.....	46
Tabla 15: Cantidad de agua aplicada (m ³ /ha) en cada etapa fenológica del cultivo de camote.....	47
Tabla 16: Coeficiente de uniformidad (instalación del cultivo)	48
Tabla 17: Coeficiente de uniformidad de caudales (40 dds)	48
Tabla 18: Coeficiente de uniformidad de caudales (100 dds)	49
Tabla 19: Resultado de valores de coeficiente de uniformidadobtenidas en el proyecto....	49
Tabla 20: La evapotranspiración de referencia de agosto a diciembre del 2022 (mm/día). 49	49
Tabla 21: Evapotranspiracióndel cultivo (mm/día)	51
Tabla 22: Datos de presión de trabajo	52
Tabla 23: Resultados de cosecha (170 p) por línea	53
Tabla 24: Clasificación del rendimiento de cosecha de camote huambachero (Tn/ha)	53
Tabla 25: Clasificación del rendimiento.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema típico de un sistema de riego por goteo	4
Figura 2: Control secundario de una unidad de riego V-8.....	4
Figura 3: Vista fotográfica de líneas laterales del sistema de riego por goteo en el cultivo de camote.....	5
Figura 4: Diagrama triangular de las clases texturales del suelo.....	9
Figura 5: Diferentes estructuras del suelo	10
Figura 6: Forma geométrica del bulbo	12
Figura 7: Descripción del tanque de evaporación Clase A.....	16
Figura 8: Curvas de crecimiento del camote naranja.....	25
Figura 9: Crecimiento de las raíces tuberosas (A a los 15 días dds, B a los 30 días dds)	26
Figura 10: Crecimiento de las raíces tuberosas (B 30 dds, C 45 dds)	27
Figura 11: Crecimiento de las raíces tuberosas (D 60 dds, E 75 dds F 90 dds)	27
Figura 12: Plano de Ubicación de la Subunidad de Riego del Programa de Hortalizas de la Facultad de Agronomía - UNALM.....	30
Figura 13: Área experimental de la Subunidad de Riego V-14.....	31
Figura 14: Esquema de la subunidad de riego V-14.....	32
Figura 15: Puntos de muestreo de aforos.....	35
Figura 16: Calibración de válvula (manómetro instalado en la válvula de control de la unidad de riego-(2022)	36
Figura 17: Muestreo de volumen medición de caudal del gotero.....	37
Figura 18: Determinación del Kc del cultivo de camote	40
Figura 19: Bulbos de humedecimiento por hora para gotero.....	44
Figura 20: Coeficiente del cultivo de camote Kc según etapas fenológicas.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Planos de instalación de riego por goteo en el Huerto Agrícola Programa de Hortalizas- UNALM.....	61
Anexo 2: Plano de ubicación de la Parcela Experimental	62
Anexo 3: Plano para el cálculo de coeficiente de uniformidad de caudales.....	62
Anexo 4: Esquemas de evaluación (sector lateral entero).....	63
Anexo 5: Esquema de evaluación Sector Laterales partidos	63
Anexo 6: Planilla para recolección de datos de campo	64
Anexo 7: Raíz tuberosa del camote	64

RESUMEN

Actualmente me encuentro trabajando en el programa de investigaciones en hortalizas de la universidad nacional agraria la molina UNALM. EL programa tiene instalado un sistema de riego presurizado de gran relevancia con el objetivo de reducir el consumo de agua en la agricultura, esencial para enfrentar los desafíos futuros de la escasez de agua y la necesidad de una gestión sostenible del recurso hídrico sin embargo la tecnificación del riego presurizado implica alcanzar altas eficiencias en su desarrollo y producción, bajo esta premisa la evaluación del sistema de riego debe ser un procedimiento rutinario con la finalidad de corregir fallas del sistema de riego y dar solución oportuna. En el monitoreo del sistema presurizado debemos enfocarnos en evaluar la eficiencia de riego evaluando en el cultivo de camote, las necesidades de agua variables de producción eficiencias de aplicación uniformidad del sistema de riego por goteo.

Palabras clave: Evaluación, Riego, Mantenimiento, Camote.

ABSTRACT

I am currently working on the vegetable research program at the La Molina National Agrarian University UNALM. THE program has installed a pressurized irrigation system of great relevance with the objective of reducing water consumption in agriculture, essential to face the future challenges of water scarcity and the need for sustainable management of water resources despite the modernization Pressurized irrigation implies achieving high efficiencies in its development and production. Under this premise, the evaluation of the irrigation system must be a routine procedure in order to correct failures in the irrigation system and provide a timely solution. In monitoring the pressurized system we must focus on evaluating irrigation efficiency by evaluating the variable water needs of production, application efficiencies, uniformity of the drip irrigation system in the sweet potato crop.

Keywords: Evaluation, Irrigation, Maintenance, Sweet Potato.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

El agua viene a ser un recurso indispensable para la población humana ya que mediante el uso del agua se logra la producción de alimentos. En la actualidad se está atravesando el problema de escasez de agua y el de cambio climático, producto de la contaminación ambiental. El calentamiento global es producido básicamente por la emisión de gases y efecto invernadero como el CO₂ y la deforestación de los bosques. Frente a esta problemática se han puesto en marcha programas de gobierno para concientizar a la población sobre el ahorro y uso eficiente de este recurso. Uno de los campos de la ingeniería mayor énfasis es la Ingeniería Agrícola mediante la tecnificación del riego.

Para efectos de difusión y conocimiento el Programa Investigación de Hortalizas de la Facultad de Agronomía de la UNALM han implementado parcelas experimentales en una extensión de 10 has en la cual se está produciendo hortalizas con sistema de riego por goteo. En el caso de hortalizas son productos que generalmente se consumen frescos y tienen un requerimiento de agua para riego de entre 2.000 a 8.000 m³/ha por ciclo productivo, dependiendo de la especie y sistema de riego. Existe una necesidad de hacer más eficiente la aplicación y uniformidad del agua, dada la importancia de la producción de hortalizas en la zona de la Molina. La evaluación de los sistemas de riego se debe realizar de una manera habitual, con el fin de lograr conocer fallas para lograr dar solución de una manera oportuna.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de la sub unidad de riego por goteo y determinar la necesidad hídrica en campo del cultivo de camote (*Ipomoea batatas*).

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento de la subunidad de riego caracterizada en el área.
- Evaluar y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y resultados del riego en camote.
- Evaluar los valores de uniformidad en la aplicación del agua en el cultivo.
- Evaluar las necesidades hídricas en el cultivo de camote durante su desarrollo fenológico para determina sus coeficientes de cultivo.
- Determinar el rendimiento de producción por el uso tecnificado del riego.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistema de riego por goteo

Un sistema de riego por goteo es definido también como la aplicación lenta de agua en forma de gotas de pequeños caudales o micro aspersores a través de dispositivos localizados a lo largo de tuberías.

FAO (1994), menciona que la principal característica de este sistema de riego es el aporte de pequeños caudales, de pequeñas dosis de agua y de fertilizantes localizados en la zona de raíces de los cultivos por medio de dispositivos de distribución con goteros.

Pizarro (1996), señala que el riego por goteo es un método de riego localizado, donde el agua es aplicada en forma de gotas a través de emisores que comúnmente se denominan goteros. Se caracterizan por dos aspectos principales: la localización y la frecuencia.

2.2. Componentes del equipo de riego por goteo

2.2.1. Unidad de presión

Fuentes de agua canales, pozos y elementos encargado de generar presión de agua que requiere el sistema, pudiendo ser mediante bombeo, por acción de gravedad.

2.2.2. Cabezal de riego

Centro maestro donde se encuentra los componentes vitales del sistema y consta de las siguientes partes:

- Filtros encargados de retener las partículas contenidas en el agua.
- Medidores de caudal, mide la cantidad de agua entregada al campo.
- Válvula check evita el refluo de los fertilizantes diluidos en el agua.
- Válvula de aire encargado de extraer el aire de las tuberías

- Equipo de fertilización en simultáneo con el riego mediante el sistema de Venturi, etc.
- Equipo de control. Pudiendo ser manual hidráulico o basados en sensores remotos.

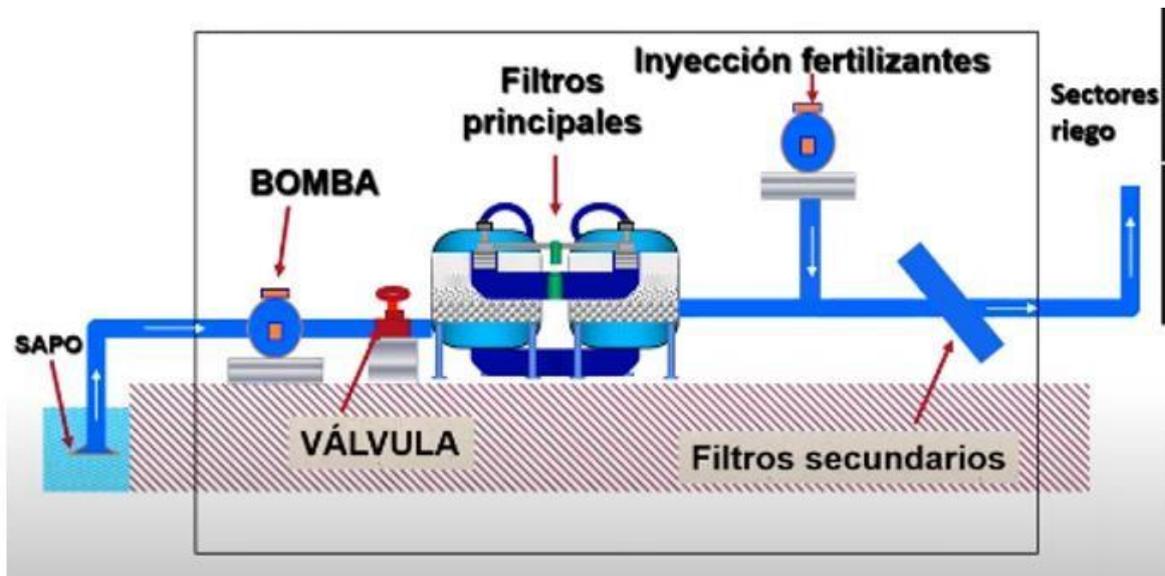


Figura 1: Esquema típico de un sistema de riego por goteo

FUENTE: Curso de Riego y Drenaje RD-17 L. Razuri



Figura 2: Control secundario de una unidad de riego V-8

FUENTE: Imagen fotográfica del sistema de riego del proyecto en uso (2022)

2.2.3. Tuberías de conducción

Están constituidos por conductos que transportan el agua desde la fuente hasta las unidades o subunidad; se han generalizado el uso de materiales plásticos que preferiblemente deben ir enterrados para evitar daños fracturas o descomposición por los rayos solares las longitudes están condicionados con el trazado el tamaño y el número de las unidades de riego; el dimensionamiento del diámetro tendrá que ser basado en criterios económicos.

2.2.4. Instalación de sistema de control secundario

Arco de riego, (válvulas hidráulicas y sistemas de automatización, válvula reductora de presión, válvula de aire.)

2.2.5. Laterales de riego

Las tuberías terciarias dentro de las unidades de riego son las que llevan el agua a las tuberías laterales el material utilizado es el cloruro de polivinilo PVC o polietileno de alta, PEHD o media densidad, PE; la primera tendrá que ir enterrado mientras que la de polietileno tiene la alternativa de poder colocarse sobre la superficie



Figura 3: Vista fotográfica de líneas laterales del sistema de riego por goteo en el cultivo de camote

FUENTE: Fotografías de campos de cultivo del proyecto (2020).

2.2.6. Laterales terciarias

Son líneas que están conectadas al emisor generalmente son de PVC, PEHD, existen en el mercado tuberías laterales perforadas que aplican directamente al agua sin necesidad de emisores especiales. En la Figura 3 se representa esquemáticamente una instalación en la que se muestra la unidad de control llamado también cabezal, la tubería principal, tubería secundaria y las denominadas unidades de riego que están compuestas por la terciaria más los laterales, que toman el agua de una unidad secundaria a través de un regulador de presión.

2.2.7. Emisor

Pizarro (1996), señala que los emisores son tal vez los elementos más importantes de las instalaciones de riego por goteo y desde luego, los más delicados. La mayoría de los emisores trabajan a una presión próxima de 10 m.c.a, aunque los de alto caudal pueden hacerlo a 20 m.c.a. Los caudales varían entre 2 y 16 l/hr. Existen numerosos tipos de goteros que pueden agruparse en distintas categorías según el criterio que prima en su fabricación:

2.2.7.1. Gotero en línea o sobre línea.

2.2.7.2. Goteros simples (una salida) o múltiples (varias salidas).

2.2.7.3. Goteros autocompensantes.

2.2.7.4. Goteros de régimen laminar, parcialmente turbulento o totalmente turbulento.

Tabla 1: Características hidráulicas de la cinta de riego

CAUDALES											
Número de Parte	Espaciamiento entre Goteros		Caudal por Gotero				Q-100				Exponente del Gotero
			gph		lph		gpm/100 pies		lph/1 metro		
	pulg	cm	@ 8 psi	@ 10 psi	@ 0.55 bar	@ 0.7 bar	@ 8 psi	@ 10 psi	@ 0.55 bar	@ 0.7 bar	
Gotero 0.13 gph											
EAXxx0467	4	10	0.13	0.15	0.51	0.57	0.67	0.75	4.99	5.58	0.5
EAXxx0644	6	15	0.13	0.15	0.51	0.57	0.44	0.50	3.33	3.72	
EAXxx0834	8	20	0.13	0.15	0.51	0.57	0.34	0.37	2.50	2.79	
EAXxx1222	12	30	0.13	0.15	0.51	0.57	0.22	0.25	1.66	1.86	
EAXxx1617	16	40	0.13	0.15	0.51	0.57	0.17	0.19	1.25	1.40	
EAXxx1814	18	45	0.13	0.15	0.51	0.57	0.14	0.17	1.11	1.24	
EAXxx2411	24	60	0.13	0.15	0.51	0.57	0.11	0.12	0.83	0.93	

FUENTE: AQUA-TRAXX-AZUL

2.3. Conceptos básicos en la ingeniería de riego

2.3.1. Eficiencia de riego

Es la relación entre la cantidad de agua empleada por los cultivos y la cantidad de agua suministrada desde la fuente de captación. La eficiencia de riego está concertada por la eficiencia de conducción en el canal principal, la eficiencia de distribución en los laterales, y la eficiencia de aplicación a nivel parcelario, como resultado de este producto tendremos la eficiencia de riego de un sistema (MINAGRI, 2015).

$$E_f = E_{fc} \cdot E_{fd} \cdot E_{fa}$$

Donde:

E_{fc} = Eficiencia de conducción

E_{fd} = Eficiencia de distribución

E_{fa} = Eficiencia de aplicación

a. Eficiencia de aplicación (E_{fa})

Para estimar la eficiencia de aplicación hay que diferenciar dos casos: Climas áridos donde no se ha considerado la precipitación efectiva para el cálculo de las necesidades netas, y en climas húmedos, en los que se ha considerado la precipitación efectiva (Keller, 1978).

Tabla 2: Valores de E_{fa} en climas áridos

Profundidad de raíces (m)	Textura			
	Muy porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
< 0,75	0,85	0,90	0,95	0,95
0,75 - 1,5	0,90	0,90	0,95	1,00
> 1,5	0,95	0,95	1,00	1,00

FUENTE: MINAGRI (2015)

Tabla 3: Valores de Efa en climas húmedos

Profundidad de raíces (m)	Textura			
	Muy porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
< 0,75	0,68	0,75	0,85	0,90
0,75 - 1,5	0,75	0,80	0,90	0,95
> 1,5	0,80	0,90	0,95	1,00

FUENTE: MINAGRI (2015)

b. La eficiencia de Distribución (Efd)

Se logra al medir la pérdida que se ha producido entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a cada usuario. Se obtiene de todos los canales de distribución que se utilizan para la distribución del recurso hídrico a nivel de parcela (MINAGRI, 2015).

Tabla 4: Valores de eficiencias según su método de riego

Método de riego	Efa	Efu
Desbordamiento	0,4	0,6
Surcos	0,55	0,75
Melgas	0,6	0,7
Aspersión	0,9	0,85
Goteo	0,95	0,9

FUENTE: MINAGRI (2015)

2.3.2. Eficiencia de riego en goteo

La eficiencia de riego en goteo es el resultado de evaluar tres aspectos: Eficiencia de aplicación, fracción de agua no retenida en la zona radicular en relación al agua aplicada en el perfil del suelo. La Eficiencia de almacenamiento, fracción de agua aplicada almacenada en el suelo en relación a la necesaria para llevar a la capacidad de campo el suelo. Eficiencia de uniformidad evaluamos el grado de uniformidad de la lámina aplicada en el suelo. Con estas tres eficiencias determinamos la eficiencia de riego por goteo.

a. Análisis de los valores de Uniformidad

Hay varias metodologías de estándar internacional que nos indican con un criterio técnico sólido para hacer este diagnóstico encontramos tres métodos, que son los más usados. La primera en la que nos vamos a centrarnos es la metodología de:

- Merriam y Keller modificado (1992)

También hay otras metodologías como:

- ASAE EP458 (1998). Asociación de Americanos Agrícolas muy estadística
- ITRC (2007) de la Universidad de California

2.3.3. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo controlan el comportamiento mecánico de los suelos, influyen en el uso y manejo del suelo. La textura y la estructura gobiernan la cantidad de espacio poroso del suelo.

a. Textura del suelo

Es la relación en porcentaje de partículas del cual está compuesto el suelo. Cuando predomina la arcilla, el suelo es capaz de almacenar mucha agua y el aire circula con dificultad. Por el contrario, en el suelo arenoso el agua y el aire circulan fácilmente y muy poco la humedad. Según predominen unas partículas u otras se considera: arenoso, limoso o arcilloso; cuando la mezcla se encuentra en una proporción ideal para la agricultura, el suelo se denomina Franco y el porcentaje de las mismas está comprendido entre: arena: 25 al 50%, limo: 30 al 50%, arcilla: 8 al 28%.

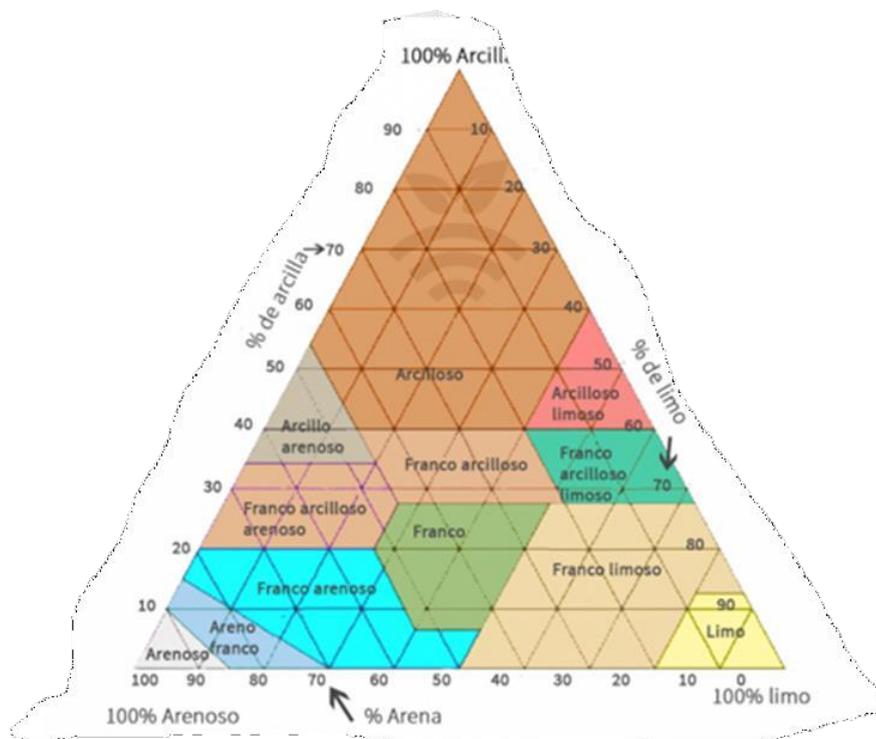


Figura 4: Diagrama triangular de las clases texturales del suelo

FUENTE: USDA (1979)

- **Estructura del suelo**

Es la forma en la cual están ordenadas las diferentes partículas granulométricas del suelo, la estructura influye también en su grado de porosidad, la velocidad de infiltración del agua en el suelo y su correspondiente movimiento dentro de él. La forma estructural de los agregados determina los tipos de estructura del suelo y estos pueden ser: laminar, poliédrico, granular. La mejor estructura es el granular por la óptima hidro estabilidad que existe entre los espacios capilares que se presentan en los agregados.

- **Porosidad del suelo**

La porosidad se define como el porcentaje en volumen del suelo que no es ocupado por partículas sólidas. Los poros del suelo son espacios que alojan agua, gases y la actividad biológica del suelo (Baver, 1972).

Existe una importante relación entre porosidad y textura, ésta es aún más estrecha con respecto a la estructura, la disposición de las partículas del suelo determina la cantidad y naturaleza de los poros.

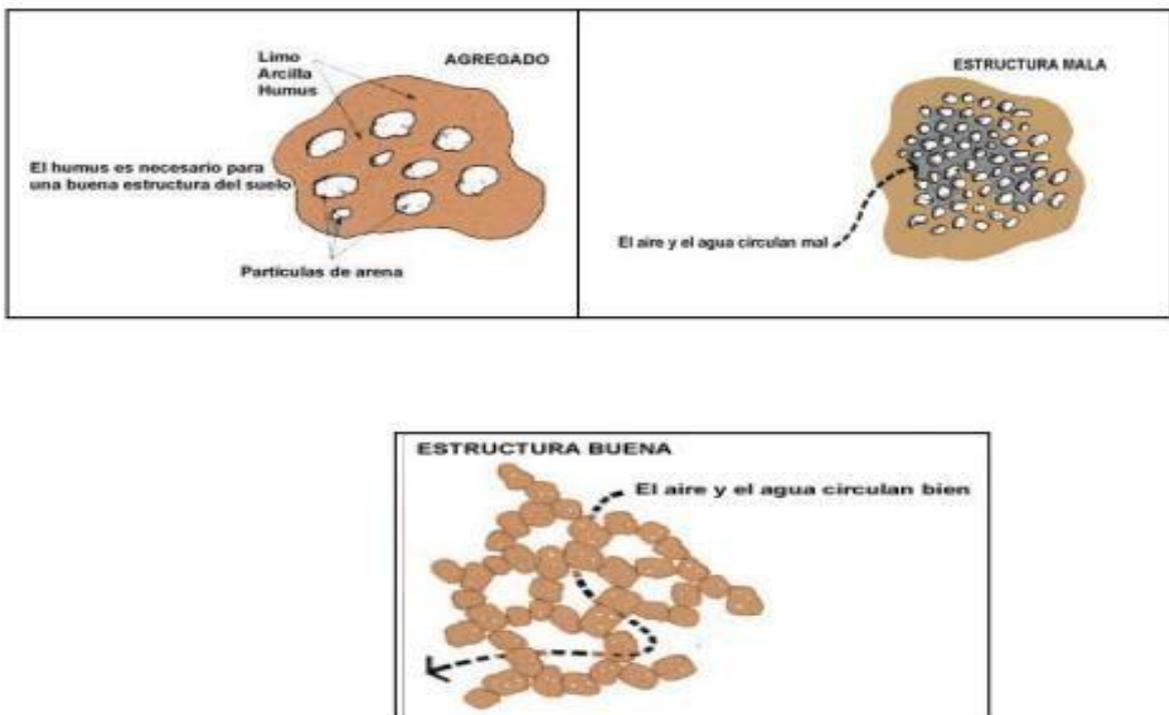


Figura 5: Diferentes estructuras del suelo

FUENTE: USDA (1979)

b. Densidad de los suelos

La densidad es uno de los parámetros básicos de un suelo y representa una disposición única de sólidos y vacíos. Los huecos, o espacio de poro, son importantes para el movimiento y almacenamiento del aire y el agua. En el suelo se consideran dos tipos de densidad:

- **Densidad aparente o seca (Da)**

Es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinar se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo cuyos valores se expresan generalmente en g/cm³.

$$da = \frac{Ms}{Vt} = \frac{Ms}{Vs + VH2O + Va}$$

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo tales como porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje.

Tabla 5: Densidad Aparente para Diferentes Suelos

Textura	Densidad aparente (g/cm ³)
Suelo arenoso	1.51 – 1.70
Suelo franco	1.31 – 1.50
Suelo arcilloso	1.00 – 1.30
Suelo volcánico	Menor 1.00

- **Densidad real (Dr.)**

Es la densidad de las partículas sólidas del suelo. Se determina dividiendo el peso del suelo secado a la estufa por el volumen que ocupan los sólidos. La densidad real de los suelos minerales más comunes varía de 2.500 a 2.700 kg/m³. Es decir, densidad real mide el peso que ocupa un volumen concreto de sólidos (sin aire ni agua).

$$dr = \frac{Ms}{Vs}$$

2.3.4. Bulbo húmedo

El bulbo húmedo es el volumen de suelo humedecido por un emisor de riego localizado. El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, que tiene una gran importancia, ya que en él se desarrolla el sistema radical de las plantas.

Las características del suelo son las que determinan el movimiento del agua bajo el riego por goteo, y existe una relación entre la dimensión horizontal (diámetro de humedecimiento) y la dimensión vertical (profundidad de humedecimiento), en la que se distribuye el agua de riego según (Cañamero y Laguna, 2012).

La formación del bulbo húmedo es afectada por la humedad inicial del suelo, basado en el emisor, frecuencia y duración de riego, movimiento capilar y la capacidad de retención del agua en el suelo, que determinan el tamaño y la forma de la zona radicular humedecida (Evans *et al.*, 2007).

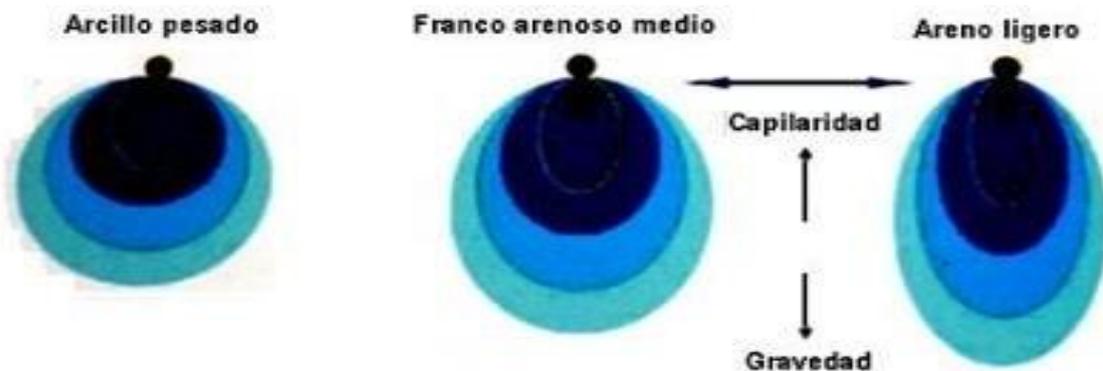


Figura 6: Forma geométrica del bulbo

FUENTE INIA (2018)

Las informaciones sobre la geometría del bulbo húmedo son importantes para el dimensionamiento y manejo de riego localizado, principalmente para estimar el volumen de suelo húmedo, basado en el emisor y tiempo de aplicación del agua (Maia *et al.*, 2010; Maia y Aguilar, 2010).

2.4. Estimación del patrón mojado

2.4.1. Lámina almacenable

En riego por goteo a diferencia de los otros métodos de riego solamente se humedece una porción de la superficie sombreada esa porción de superficie humedecida llamado porcentaje de área mojada (Ph), esta está dada por la relación entre el área mojada durante el riego y el área de influencia del cultivo la cual se utiliza para calcular la lámina almacenada.

2.4.2. Profundidad de mojado (Pm)

En un sistema de riego por goteo se busca una alta eficiencia que de aplicación, diálogo, razón por la cual se fija como norma en su diseño que la profundidad de suelo mojado no sea mayor en un 10% a 20% de la profundidad radicular del cultivo, además esta cantidad puede ser la adecuada para que actúe como fracción de lavado en el control de la salinidad, para fines de prácticas de diseño se considera que la profundidad mojada tenga un rango en función de la profundidad radicular este rango está entre 0.85 y 1.15 es decir,

$$0.85 Pr \leq Pm \leq 1.15 Pr$$

Donde:

Pr = profundidad radicular efectiva (m)

Pm = profundidad de mojado del emisor (m)

2.4.3. Cálculo del porcentaje mojado (Ph)

El porcentaje de área mojada (Ph) es la relación entre el área mojada y un plano horizontal y a una profundidad entre 15 a 30 cm y el área total este porcentaje dependerá del trazado y número de laterales, así como del tipo de emisor.

a. Laterales sencillos

Un lateral por hilera de plantas con una separación entre emisores Semenor o igual al 80% del diámetro de humedecimiento (Dh) esta última puede ser estimado mediante pruebas de campo o con los datos en la tabla

$$Ph = e * Se * Dh / Sp * Sr * 100$$

Donde:

E = número de divisores por planta

Se = espaciamiento entre emisores

Dh = diámetro del círculo mojado del emisor

Sp = separación entre plantas

Sr = espaciamiento entre hileras de plantas

b. Laterales dobles

Para este caso de 2 laterales por hilera de planta la separación entre laterales debe ser igual al 80% Dh para no dejar áreas sin agua entreellos,

$$Ph = e * Se^a (Se * Dh) / 2(Sp * Sr) * 100$$

Donde:

Se^a = espaciamiento óptimo entre emisores que corresponde al 80% del diámetro de mojado.

2.5. Necesidades de riego de los cultivos

- **Evaporación:** es el agua pérdida mediante la evaporación por el terreno contiguo a la planta por la superficie de las hojas de la planta. La evaporación está en función de la radiación solar, latitud, estación del año, hora del día, temperatura, la presión de vapor, el viento, la presión atmosférica y la nubosidad. Cisneros (2003).
- **Transpiración:** la transpiración es la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor, además está en función de los factores climáticos como el viento, la temperatura, la humedad del aire y la radiación solar. Existen dos tipos de transpiración: transpiración estomática y transpiración cuticular Cisneros (2003).

2.5.1. Evapotranspiración

Según Cisneros (2003), la evapotranspiración es la cantidad de agua utilizada por el cultivo para cumplir sus distintas funciones de transpiración más el agua que se evapora de la superficie del suelo.

a. Factores que afectan la evapotranspiración

Los factores que afectan la evapotranspiración son los siguientes:

- Hídricos: disposición y la calidad de agua de riego, eficiencia de riego, método de riego.
- Edáficos: propiedades físicas y químicas del suelo como textura, estructura, porosidad, salinidad, fertilidad, etc.
- Vegetales: variedad, ciclo de cultivo, características morfológicas de las estomas.
- Climáticos: humedad relativa, temperatura, precipitación, viento, radiación solar.

2.5.2. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Según la FAO (2006), la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que está sin restricción de agua se conoce como Evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET_o. La evapotranspiración de referencia (ET_o) es definida como la pauta de evapotranspiración de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, con valores que oscilan entre los 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y no está restringido el recurso hídrico (Fuentes y Yagüe, 2003).

a. Método de Penman Monteith

Este método fue desarrollado en 1948, partiendo del concepto de cultivo de referencia cuyo cultivo hipotético con un valor asumido 0.12m de altura y 0.23 para el albedo y esto representa la evapotranspiración de una superficie cultivada de pasto. Penman derivó una ecuación para calcular una superficie abierta de agua partiendo de datos climáticos como la horassol, la temperatura del aire, humedad atmosférica, y velocidad del viento.

En una reunión de expertos (FAO, 1990) se determinó recomendar universalmente el método de Penman- Monteith para la estimación de la Et:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_z (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_z)}$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia; (mm/ día)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo; (MJ m²/ día)

R_a = radiación extraterrestre; (mm/día)

g = flujo del calor de suelo; (MJ m²/día)

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

uz = velocidad del viento a 2 m de altura; (m/s)

es = presión de vapor de saturación; (kPa)

ea = presión real de vapor; (kPa)

b. Método de la cubeta evaporimétrica Clase A

Está basado en la medición de la evaporación en tanque evaporimétrico y, concretamente, de “Clase A”. Se trata de un recipiente cilíndrico fabricado a base de hierro galvanizado, de 1,21 m de diámetro y 25,4 cm de alto, que se coloca a unos centímetros sobre el suelo utilizando una plataforma, generalmente de madera. El agua de la cubeta debe mantenerse a 5-7 cm del borde. La lectura de la altura de agua en la cubeta se hace todos los días a la misma hora mediante un tornillo micrométrico situado en un depósito. La lectura se debe realizar de formameticulosa para evitar errores.

Si se dispone de datos de la tina, Tipo “A”, la expresión será:

$$ETc = 0.6 * Ev$$

Donde:

Ev es la evaporación de la tina y **ETc** es la evapotranspiración dediseño.

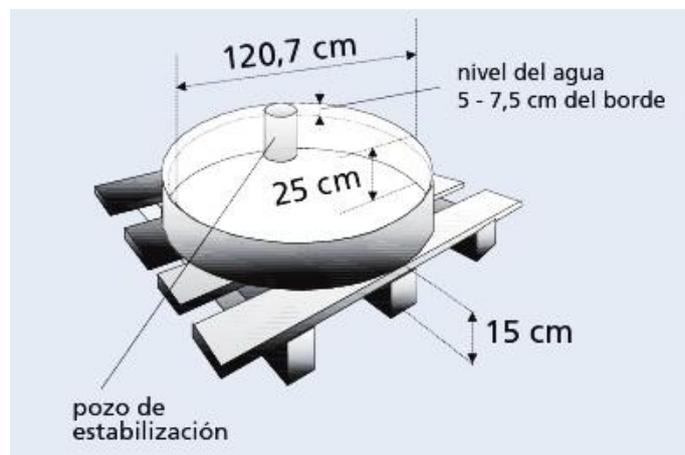


Figura 7: Descripción del tanque de evaporación Clase A

FUENTE requerimientos de agua de los cultivos FAO.

2.5.3. Coeficiente del cultivo

Para poder planificar los riegos, tanto en lo que se refiere a la frecuencia como a la dosis, es necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la cantidad de agua que requieren para un desarrollo óptimo. Según la FAO (1986), la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{To} y el coeficiente del cultivo K_c :

Es un multiplicador que se llama factor de cultivo representado generalmente por K_c . Este factor es exclusivo de cada cultivo, el mismo que varía de acuerdo a su distinta etapa fenológica, usualmente es menor a 1, Briceño et al. (2012). Según Maldonado, (2012), menciona las siguientes etapas del cultivo:

- Fase inicial: K_c ini: Está desde el periodo de germinación y crecimiento inicial, se aprecia que ésta va desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal del suelo.
- Fase de desarrollo: o fase de crecimiento va desde el 10% hasta el 80% de cobertura vegetal del suelo.
- Fase de medio periodo: K_c med: o fase de maduración Está comprendida desde el 80% hasta comienzos de la maduración.
- Fase final: K_c fin: Está comprendida desde los comienzos de la maduración hasta la cosecha total.

Tabla 6: Coeficientes de cultivos (K_c) de algunos cultivos

Cultivo	Inic. (L_{ini})	Des. (L_{des})	Med. (L_{med})	Final (L_{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
d. Raíces y Tubérculos							
Remolacha, mesa	15 25	25 30	20 25	10 10	70 90	Abr/Mayo Feb/Mar.	Mediterráneo Mediterráneo & Árido
Mandioca o Yuca:							
año 1	20	40	90	60	210	Período	Regiones Tropicales
año 2	150	40	110	60	360	Lluvioso	
Patata o Papa	25 25 30 45 30	30 30 35 30 35	30/45 45 50 70 50	30 30 30 20 25	115/130 130 145 165 140	Ene/Nov. Mayo Abril Abr/Mayo Dic.	Clima (Semi)Árido Clima continental Europa Idaho, EU Calif. Desierto, EU
Camote o Batata	20 15	30 30	60 50	40 30	150 125	Abril Período Lluvioso	Mediterráneo Regiones Tropicales

FUENTE: Revista Riego y drenaje 56 FAO

2.5.4. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La Evapotranspiración del cultivo es igual a la cantidad de agua que se requiere para compensar la pérdida por evapotranspiración de un terreno cultivado, puede ser calculada directamente utilizando parámetros climáticos e integrando directamente la resistencia del cultivo (Briceño *et al.*, 2012).

La ETc es la evapotranspiración de un cierto cultivo en un suelo productivo sin presencia de enfermedades o plagas y que cuenta con la suficiente cantidad del recurso hídrico para su producción (Fuentes y Yagüe, 2003). La ETc puede ser calculada directamente utilizando parámetros climáticos e integrando directamente la resistencia del cultivo, el albedo y factores de resistencia del aire (Briceño *et al.*, 2012).

2.6. Contenidos de humedad del suelo relacionados con el riego

2.6.1. Precipitación efectiva

La determinación de este parámetro encierra dificultades específicas, razón por la cual se recurren a métodos simplificados. Existen varias formas para determinar la Precipitación efectiva uno de ellos es el elaborado por el Soil Conservation Service (USDA) utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{ef} = \frac{(P_{tot} - 0.2 \cdot P_{tot})}{125}; \text{ para } P_{tot} < 250 \text{ mm.}$$

$$P_{ef} = (125 + 0.1) \cdot P_{tot} > 250 \text{ mm.}$$

Donde:

P_{ef} = Precipitación efectiva; (mm)

P_{tot} = Precipitación total del mes; (mm)

2.6.2. Umbral de riego (Ur)

El umbral de riego se entiende por el agotamiento del agua útil almacenada en el suelo, antes de realizar el próximo riego. En el riego por goteo los contenidos de humedad en el perfil, son siempre altos, por lo que el umbral de riesgo generalmente es menor al 50% del agua útil.

2.6.3. Lámina neta máxima (dn)

La lámina neta máxima correspondiente al humedal de riego está definida por:

$$dn_x = (CC - PMP) / 100 * Dap * Ph * Ur$$

2.6.4. Frecuencia de riego (Fr)

Se define como la frecuencia con que se aplica agua a un cultivo en particular en una etapa determinada de crecimiento; se expresa en días,

$$Fr = dn_x / ETc$$

2.6.5. Lámina neta aplicación o riego (dn)

Este dado por:

$$dn = ETc * Fr$$

2.7. Contenido de agua en el suelo

El suelo retiene el agua en dos formas: como el agua libre en los poros, en las aberturas que se encuentran en las partículas sólidas y como agua adherida o retenida por adsorción sobre las superficies sólidas de las partículas coloidales y de arcilla (Valarezo *et al.*, 1998).

La capacidad del suelo para retener el agua contra la fuerza de gravedad; son las raíces que están en contacto con el suelo es por ello que retienen mayor capacidad de almacenaje de agua, de no ser así el agua se infiltraría o percolaría por el suelo (Gallegos, 2016).

2.7.1. Formas de expresar el contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo se puede hablar en tres formas: en términos de masa, en términos de volumen y en términos lineales (Valarezo *et al.*, 1998).

a. Contenido de humedad en unidades de masa

Corresponde a la relación entre la masa de agua y la masa del suelo seco. El contenido de humedad en términos de masa puede ser mayor al 100% sólo en suelos altamente orgánicos de origen volcánico (Valarezo *et al.*, 1998).

$$\theta_m = \frac{PMH - PMS}{PMS} \cdot 100$$

Donde:

θ_m = Contenido de humedad en términos de masa (%)

PMH = Peso de la muestra húmeda (g)

PMS = Peso de la muestra seca (g)

b. Contenido de humedad en unidades de volumen:

Es necesario conocer el contenido de humedad como porcentaje por volumen de suelo no disturbado. El contenido de humedad en términos de volumen es el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al volumen del suelo húmedo. Fuentes y Yagüe (2003).

$$\theta_v = \frac{V_w}{VT_s} \cdot 100$$

Donde:

θ_v = Contenido de Humedad volumétrico (%)

VW = Volumen de agua (cm³)

VTs = Volumen total del suelo (cm³)

c. Contenido de humedad en términos lineales:

También expresada en altura de agua, para aplicaciones de riego y drenaje es necesario expresar el contenido de humedad en términos de lámina igual que la precipitación, la cantidad de agua del suelo se puede hablar en longitud de altura de agua (Valarezo *et al.*, 1998).

$$L_{amm} = \theta_v \cdot D$$

Donde:

L_{amm} = Lámina de riego

θ_v = Contenido de Humedad volumétrico (%)

D = Profundidad de riego específica (mm)

2.8. Estados del agua en el suelo

- **Saturación:** un suelo se encuentra saturado cuando todos sus poros están ocupados por agua. Cuando el estado del suelo saturado se prolonga, las raíces de las plantas no acuáticas mueren por la ausencia del oxígeno. Fuentes y Yagüe (2003).
- **Capacidad de campo:** es la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad, cuando su drenado es libre. Para el Departamento de Agricultura en los Estados Unidos de América (USDA) el contenido de agua de succión está a 1/3 de atm o 2,52 pF, a diferencia de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), el contenido de agua de succión está a 1/10 de atm o 2.0 pF. Valarezo et al, (1998).
- **Punto de marchitez permanente:** a partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo gradualmente por evaporación y por la absorción radicular. Debido a que llegan a un punto en el que los cultivos no pueden absorber toda el agua que necesitan y se marchitan. Se considera punto de marchitez permanente cuando la tensión matricial alcanza un valor de 15 atm. Aproximadamente la mitad del agua contenida en el suelo a capacidad de campo se encuentra íntimamente retenida y las plantas no pueden absorber. Fuentes y Yagüe, (2003).

2.9. Infiltración del agua en el suelo

Es la facilidad que ofrece el suelo para ser atravesado por el agua sin alterar su estructura interna. Por lo general los suelos se componen de capas, y a menudo, la calidad del suelo varía considerablemente de una capa a otra. La velocidad de infiltración para diferentes tipos de suelos:

Tabla 7: Rangos de Velocidad de infiltración de acuerdo a supermeabilidad

Suelos arenosos	De 19 a 25.5 mm/hora
Suelos ligeros	De 12 a 19 mm/hora
Suelos medios	De 10 a 12.5 mm/hora
Suelos arcillosos	De 7.5 a 9 mm/hora

2.9.1. Factores que determinan la infiltración

Según Ortiz y Ortiz (1980), citado por Cisneros (2003) mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son los siguientes:

- **Textura:** los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En suelos arenosos la infiltración se ve favorecida.
- **Estructura:** suelos con agregados grandes en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- **Cantidad de materia orgánica:** altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una gran cantidad de agua logre entrar al suelo.
- **Profundidad del suelo:** suelos endurecidos, rocosos u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- **Cantidad de agua** en el suelo: un suelo mojado tendrá una menor cantidad de infiltración que un suelo seco.
- **Temperatura** del suelo: los suelos calientes tienen una mayor infiltración del agua que en suelos fríos.
- **Cantidad** de organismos vivos: los suelos que presentan una actividad microbiana indican que habrá mayor infiltración.

2.10. Ecuaciones empíricas de la velocidad del agua en el suelo

Existen distintas fórmulas que intentan expresar la infiltración, la principal es la fórmula de Kostiakov. Maldonado, (2012) menciona las siguientes ecuaciones:

- **Velocidad de infiltración:** es el proceso en el cual el agua penetra en el interior del suelo en un determinado tiempo. Kostiakov planteó la siguiente ecuación que expresó la infiltración.

$$F = C \cdot t^m$$

Donde:

F = Lámina total infiltrada en el tiempo

C y m = Parámetros a determinar con datos experimentales

t = Tiempo

- **Infiltración acumulada:** la infiltración acumulada es la sumatoria de las alturas de agua infiltradas durante el tiempo de prueba. Su ecuación es la siguiente:

$$I_{cum} = \int_0^t VI = \frac{a}{(b+1)} * t^{(b+1)}$$

Donde:

Iacum= A * tb

Iacum= Infiltración acumulada

t = Tiempo

Los parámetros de **a** y **b** de la ecuación se pueden obtener mediante el método de los mínimos cuadrados o gráficamente representando las mediciones en un papel doble logarítmico.

2.11. Pérdidas de agua en las plantas

Según Lanchrer (2004), la mayoría de las plantas poseen sistemas eficientes para absorber y movilizar agua fundamentalmente gaseosa, mediante la transpiración es a través de las hojas que se hacen los intercambios de gases y debe compensarse por medio de su absorción de la raíz desde el suelo.

Las pérdidas de agua en las plantas se efectúan a través de estructuras llamadas estomas ubicadas mayoritariamente en el envés de las hojas. Pierden casi toda el agua por transpiración estomática a través de las estomas el agua sale, pero al mismo tiempo permite la entrada de CO₂, a la planta; el bióxido de carbono es necesario para que ocurra la fotosíntesis.

La absorción del agua del suelo tiene un efecto en la movilización de sales minerales del suelo hacia la raíz, facilitando por lo tanto su absorción.

De toda el agua absorbida por la planta menos del 5% es retenida y utilizada para el crecimiento y almacenamiento

2.12. Cultivo del camote (*Ipomoea batatas*)

El camote (*Ipomoea batatas*) es una hortaliza que destaca por su versatilidad de uso, pudiendo utilizarse tanto para alimentación humana como animal. Su cultivo es relativamente fácil y barato, lo que, unido a su adaptabilidad a diferentes condiciones edáficas y climáticas, hace viable su producción para los agricultores familiares.

El camote es un alimento eficaz en la lucha contra la desnutrición debido a sus características nutritivas, facilidad de cultivo y producción, que puede contribuir al desarrollo de la agricultura. Hay muchas variedades de camote, de acuerdo al color de los frutos; hay variedades de piel naranja, morada y blanca (los naranjas contienen beta-carotenos los camotes de pulpa morada contienen antocianinas).

El camote es una buena fuente de vitamina A, ácido ascórbico, piridoxina, ácido pantoténico, ácido fólico y una moderada fuente de tiamina, riboflavina y niacina (Kays, 1992).

2.12.1. Utilización del camote

El camote como producto de consumo proporciona una alimentación nutritiva, ya que son ricos en minerales, contiene antioxidante y vitaminas. Además de servir como un alimento dietético, este cultivo se viene usando también como fuente para alimentación animal; el follaje del camote tiene proteína superior a gramíneas forrajeras y el maíz.

Se puede utilizar de varias formas:

- Como chip como hojuelas, fritas, snack deshidratadas y dulces.
- Como forraje para animales. (fresco o deshidratado en pellets)
- Como harina para elaborar panes torta etc.

2.13. Manejo del agua en la producción del camote

El agua es un factor importante en el cultivo del camote. Un buen cultivo de camote requiere de 400 a 800 mm de agua dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración de la campaña de cultivo para una población de 35000 plantas por hectárea esto corresponde de 100 a 200 litros de agua por planta en la campaña de cultivo su correcto manejo proporcionan suficiente cantidad para el crecimiento del camote.

2.14. Curva de crecimiento del camote

La curva de crecimiento de un cultivo muestra los cambios en tamaño de los diferentes órganos de una planta (tallo, hoja, raíz, flor y fruto) a través de su ciclo. Por lo general la curva de crecimiento se divide en tres etapas.

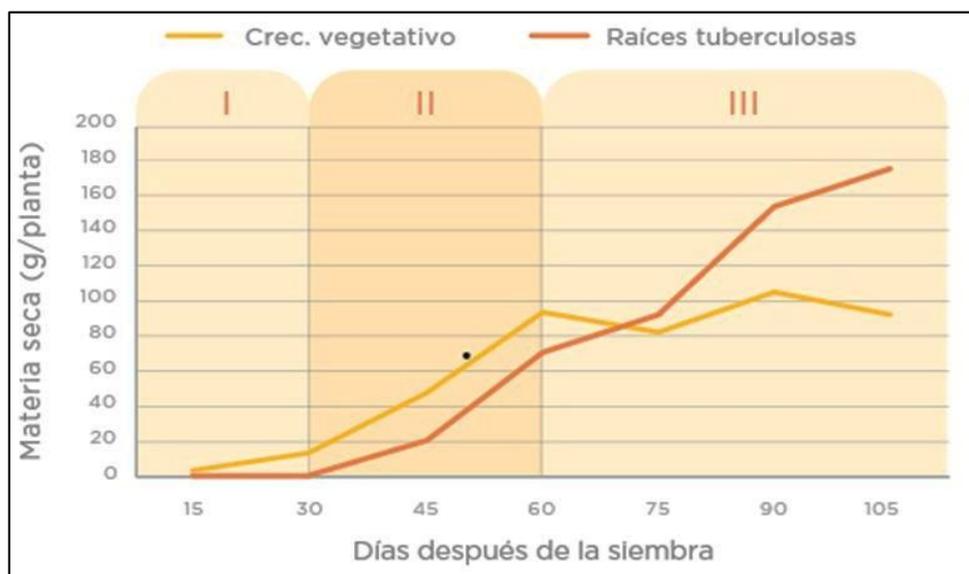


Figura 8: Curvas de crecimiento del camote naranja

FUENTE: Cambronera (2012)

Algunos autores han establecido etapas de desarrollo fisiológico en la fenología del camote. Ágata Takeda (1982) establece dos periodos de crecimiento en función del incremento del índice de área foliar (0-50 dds) y (60 -150 dds). López *et al.* (1980), establecen tres periodos:

1. Desde la brotación hasta la aparición de la raíz reservante (40 -60 dds)
2. Aparición de la raíz reservante hasta el máximo desarrollo foliar (80 a 120 dds)
3. Máximo desarrollo foliar hasta el desarrollo total de las raíces reservantes (100- 120 dds) que es la cosecha, Baigorrea, (1994), establece cuatro periodos:
 - a. **Fase inicial** (brotación y crecimiento (10% de cobertura de follaje)).
 - b. **Fase de desarrollo del cultivo** desde final de fase inicial hasta que tenga una cobertura sombreada 70-80% de cobertura.
 - c. **Fase de mediados de periodo**, desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración cobertura 100%.

d. Fase de maduración y cosecha.

2.14.1. Primera fase de crecimiento

La primera fase se caracteriza por un lento crecimiento, se inicia con la brotación de las raíces adventicias y formación de los tallos y hojas de la siembra a los 30 días después de la siembra (dds).

En esta etapa la planta usará los fotoasimilados almacenados en el esqueje para sostener el crecimiento vegetativo, de ahí la importancia del grosor del tallo de los esquejes, entre más gruesos, mayor cantidad de reservas, lo cual producirá plantas más vigorosas.



Figura 9: Crecimiento de las raíces tuberosas (A a los 15 días dds, B a los 30 días dds)

FUENTE: Cambronera 2012 Santa Clara, Costa Rica

2.14.2. Segunda fase

Esta fase va de los 30 a los 60 dds., se caracteriza por una rápida expansión de los tallos y hojas, se alcanza la máxima producción de hojas y área foliar, y se inicia el llenado de las raíces tuberosas.

2.14.2. Tercera fase

Esta va de los 60 dds a la cosecha (105-120 dds). Se caracteriza por un descenso en el crecimiento vegetativo (senescencia de hojas y tallos) se da el engrosamiento de las estructuras de almacenamiento y la translocación de los fotoasimilados para el llenado de las raíces tuberosas (Cambronero, 2012; Cusumano y Zamudio, 2013).



Figura 10: Crecimiento de las raíces tuberosas (B 30 dds, C 45 dds)

FUENTE: Cambronera 2012 Santa Clara, Costa Rica



Figura 11: Crecimiento de las raíces tuberosas (D 60 dds, E 75 dds F 90 dds)

FUENTE: Cambronera 2012 Santa Clara, Costa Rica

2.15. Esqueje o semilla del camote

El esqueje es una estructura vegetativa muy susceptible a la deshidratación y para su sobrevivencia requiere una muy buena humedad del suelo. De acuerdo a Cobeña *et al.* (2017) reportan que una planta de camote requiere aproximadamente 3,3 litros de agua por días y recomienda aplicar 2 h/día de riego; sin embargo, estudios realizados por Delgado y Rivera (2018) encontraron que realizar riegos intermitentes de 10 min con 5 min de descanso eran más eficientes que el riego continuo, las plantas expuestas a los riegos intermitentes tuvieron mayor rendimiento.

2.16. Riego

La fuente de agua proviene del río Rímac a través de los canales de derivación de Ate llegando hasta los reservorios de 20m³ de la UNLAM. Luego el agua es distribuida a través de la red primaria hacia los campos experimentales de hortalizas del huerto hasta los cabezales de distribución.

El riego por goteo es un sistema de riego presurizado de baja presión lleva el agua a la zona radicular del cultivo en forma lenta en gotas garantizando un máximo aprovechamiento del agua, las ventajas que nos da este sistema son el ahorro de agua hasta de un 50% de riego aprovechable, mayor eficiencia de riego, ahorro en mano de obra y hacer uso de fertirriego entregando oportuno y continuo de fertilizante en la zona radicular del cultivo.

Según Suni (1993) cuando el camote se somete a estrés hídrico en la primera etapa de desarrollo, se incrementa el rendimiento esto se debe a que el déficit hídrico provoca el llenado de las raíces reservantes.

El riego frecuente provoca una alta humedad en el suelo, la cobertura crece rápidamente este hecho hace que la planta no trasloque los Asimilados hacia la raíz, lo que está haciendo hacia el órgano aéreo (enviciamiento).

Si hay un riego controlado el follaje disminuye y no afecta la fotosíntesis provocando que la translocación de los asimilados sea hacia el llenado de la raíz reservante

2.17. Fertilización

El camote es un cultivo altamente extractor de nutrientes principalmente el potasio, nitrógeno. Para establecer un programa de fertilización se recomienda hacer el análisis químico del suelo.

Se recomienda la fertilización con abono orgánico al momento de siembra luego a los 10 dds se recomienda la primera dosis de fertilización NPK luego a los 60 dds aplicar potasio y micronutrientes.

El exceso de fertilización nitrogenada ocasiona crecimiento abundante de follaje que va en desmedro de la formación de raíces reservantes y un mayor ataque de las plagas de insectos en follaje.

Se recomienda realizar aplicaciones foliares de macro y micronutrientes durante los primeros 40 días, por lo menos una o dos veces por mes a partir de los 15dds. Después de los 40 dds, se debería aplicar calcio, boro y magnesio foliar cada 15 a 22 dds.

La aplicación de potasio a los 80 a 90 dds esta última aplicación se realiza si el llenado de las raíces tuberosas no es el adecuado.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Ubicación de los campos experimentales

El presente trabajo se realizó durante los meses de agosto a diciembre 2022 en la parcela de la subunidad de riego V-14 del Programa Experimental de Hortalizas de la Facultad de Agronomía en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM):

Ubicación geográfica Latitud 12° 05' 06" S Longitud 76° 57' 00" W Altitud 238 msnm

3.2. Clima

El clima húmedo, la precipitación es escasa, la información meteorológica se obtenido de la Estación DAVIS del CIER (Centro Investigación de Riego) Facultad de Ingeniería Agrícola.



Figura 12: Plano de Ubicación de la Subunidad de Riego del Programa de Hortalizas de la Facultad de Agronomía - UNALM

3.3. Metodología

3.3.1. Evaluar el funcionamiento de la Subunidad de Riego caracterizada en el área

a. Descripción del área experimental

La parcela cuenta con una instalación del sistema de riego por goteo, hay que conocer ciertos aspectos fundamentales que van a definir la calidad de funcionamiento del sistema de riego; el diseño hidráulico, diseño agronómico, operación y mantenimiento y uniformidad de distribución del agua.



Figura 13: Área experimental de la Subunidad de Riego V-14

b. Diseño hidráulico

Tenemos un esquema simplificado de la subunidad de riego V-14. Un cabezal donde se da la presión, se filtra se controla se mide el agua que van al campo a través de la tubería primaria al Sistema de Control Secundario (arco de riego), estas válvulas de campo permiten su apertura y cierre para regar un tiempo determinado sale la tubería secundaria o terciaria en el cual se conectan los laterales de cinta donde están conectados los emisores que realizan la descarga del agua en el terreno.

Los laterales de cinta en parcelas llanas no deben superar los 140 m de longitud (100 m en pendiente ascendente) ya que las pendientes de carga son excesivas y los goteros no funcionarían adecuadamente por diferencia de presiones del primer gotero y el último gotero.

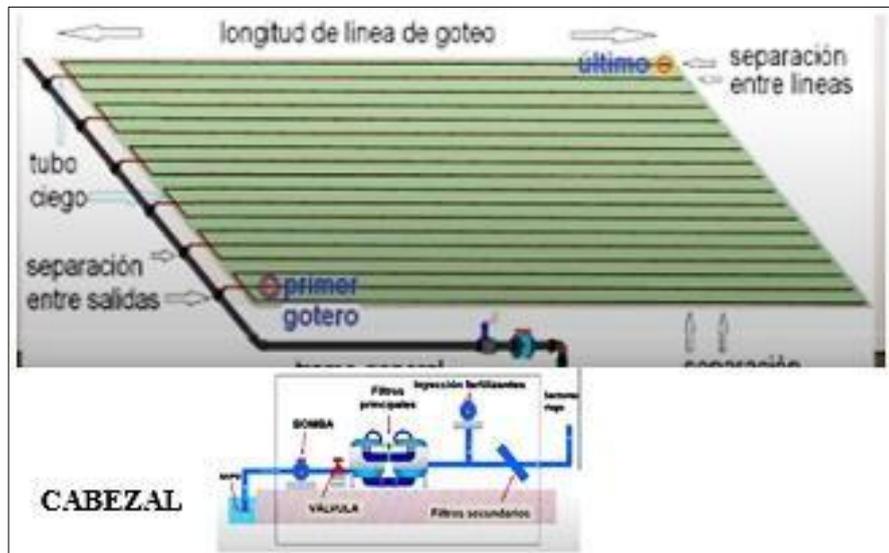


Figura 14: Esquema de la subunidad de riego V-14

c. Calcular la demanda de agua en riego por cinta

La cinta se usa más en cultivo de hortalizas se tienen emisores a 10, 20, 30 cm dependiendo del cultivo y modelo está la separación de cada emisor el caudal de la cinta se expresa en l/h/ml los caudales que más se usan son de 2l/h,4l/h.

d. Sector de riego

Se tiene un área de 50 m de ancho*60 m de largo.

En esta área tengo distribuido 55 surcos (0,90 entre surco) con un lateral de cinta de riego distancia entre emisores de 0,30 m con un caudal nominal de 1,86 l/h/m a partir de estos conceptos se generan las fórmulas del caudal del sector cinta (caudal de la sub unidad de riego).

Caudal sector cinta

$$Q = N.º \text{ SURCOS} \times N.º \text{ LATERALES} \times \text{LARGO metros} \times Q_{\text{emisor}} (\text{L/H/ML}) = \text{L/H}$$

e. Demanda de agua (Da)

Esta demanda de agua es la evapotranspiración del cultivo (ETc) por lo tanto es importante tener los datos de evapotranspiración referencial (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc).

$$\mathbf{Da = ETo * Kc * \text{Área sector} / Efr}$$

f. Lámina bruta (Lb)

La cantidad de agua en exceso que debe aplicarse para compensar las pérdidas por escorrentía, evaporación, arrastre por el viento, percolación, etc. Resulta de dividir la lámina neta sobre la eficiencia del riego.

$$\mathbf{Lb = ETc / Efr}$$

Donde:

Efr = Eficiencia de riego por goteo 90%

g. Tiempo de riego por cinta (Tr)

El tiempo de riego se calculó en base a la evapotranspiración diaria considerando los datos agronómicos del cultivo y las características de las cintas de goteo.

Se hizo un balance diario de la evapotranspiración y luego determinar el tiempo de riego que si superan las dos horas se dividió en la mañana 2 horas y luego en la tarde las horas restantes. En la Tabla 6 tenemos el tiempo de riego en horas y el volumen aplicado en m³ para cada etapa fenológica del cultivo del camote.

h. Evaluación del agua de riego en el cultivo del camote

El camote es una planta rústica en comparación con la papa, exige dosis menores de fertilizantes N y P se le considera más eficiente en el uso de agua; por lo que el camote podría ser cultivado en suelos con valor agrícola marginal (Mendoza, 1988).

Conociendo las etapas fenológicas del camote determinaremos los requerimientos de la cantidad de agua de riego para su desarrollo.

El camote se propaga por medio de esquejes vegetativos los cuales producen raíces

adventicias que dan origen a las raíces tuberosas. El periodo crítico de riego, ocurre la primera semana después de siembra efectuándose riegos frecuentes para evitar la deshidratación hasta que forme su raíz luego en la formación de los tubérculos.

Después del inicio de la brotación de raíces los riegos son más espaciados dos riegos por semana hasta los 40 dds con el fin de promover el prendimiento del material vegetativo y un buen desarrollo de la parte aérea. A partir de los 60 dds empieza la formación de las raíces tuberosas y traslocación de la fotoasimilados para la formación del tubérculo, es el momento del manejo combinado del estrés hídrico y el riego hasta la cosecha.

Para obtener las necesidades de agua para el cultivo del camote es necesario obtener la evapotranspiración de referencia para ello tener la información meteorológica diaria o lecturas de tanque evaporímetro tipo A y el kc del cultivo de camote con ello obtener la lámina de agua a reponer y el tiempo de riego para el cultivo. En la tabla 4 se muestra la evapotranspiración de referencia de agosto a diciembre del 2022.

3.3.2. Evaluar los valores de uniformidad en la aplicación del agua en el cultivo

Es una prueba que permite monitorear el funcionamiento de los sistemas de riego. Se realiza aforando los goteros y nos permite obtener: caudal de operación, coeficiente de uniformidad y coeficiente de variación

a. Análisis de los Valores de Uniformidad

Hay varias metodologías La primera en la que nos vamos a centrarnos es la metodología de: Merriam y Keller modificado (1992).

b. Materiales

- Probeta Graduada de 100 mm
- Cronómetro
- Manómetro 2,5 y 4 mca
- Planilla de registro
- Cinta métrica.

c. Evaluación de la Uniformidad de Riego

Como objetivo general el agua que se aplique quede en la zona radicular del cultivo y ahí se va a integrar lo que es la eficiencia de aplicación y la eficiencia de almacenaje para que el suelo se llene hasta alcanzar a su capacidad de campo y además que el campo se riegue muy uniforme.

d. Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU)

Para la evaluación de la uniformidad del sistema de riego en una unidad se utilizará la metodología desarrollada por Merriam y Keller (1992), citada por Pizarro (1996) A tal efecto, se toma el área de la subunidad o sector que domina cada válvula de una secuencia y un número mínimo de 4 laterales. De ellas se mide el caudal en el inicio, a $1/3$, $2/3$ y al final de la línea lateral. Esto se realiza en el primer lateral, también el que se encuentra a $1/3$ del largo de la subunidad, se repite para el que se encuentra a $2/3$ y el último de los laterales.

- En cada uno de estas tuberías laterales, se seleccionaron cuatro plantas, distribuidas equidistantemente, en total se consideraron 16 puntos de análisis por cada subunidad de riego.
- Una vez definidos los puntos, se recogió el agua de los emisores durante dos minutos. Estos volúmenes se midieron en una probeta y se anotó el resultado en un formulario preparado para ello.

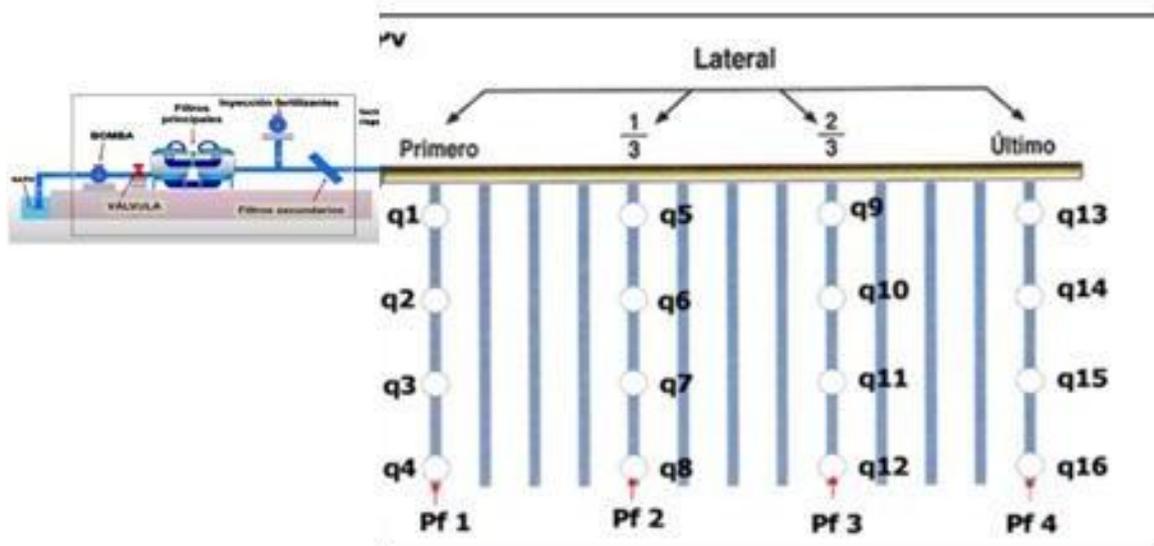


Figura 15: Puntos de muestreo de aforos

La unidad de volumen seleccionada para el caudal de los goteros es de l/h. Por cada punto de análisis se tomó la presión (bar), con un manómetro de glicerina de 2.5 Bar. Estas lecturas se realizaron inmediatamente después de la prueba anterior y se anotó el resultado en un formulario preparado para la prueba.

$$Q_g = V \text{ (ml)} / T \text{ (minuto)} * 0.06$$

Dónde: Q_g = caudal del gotero en (l/h)

e. Determinación de la eficiencia de distribución (ED)

$$ED = 100 * \left(\frac{Lp \text{ 25\%}}{\bar{X}} \right)$$

Dónde:

ED = Eficiencia de Distribución; (%)

$Lp \text{ 25\%}$ = Caudal promedio del 25% de goteros de menorcaudal (l/h);

\bar{X} = Media del caudal de los goteros; (l/h).

En segundo lugar, necesitamos calibrar la válvula (V14,) de los arcos de riego a evaluar, con la ayuda del manómetro encontraremos la presión de diseño y podremos dar inicio al cálculo de los volúmenes controlados en un tiempo determinado.



Figura 16: Calibración de válvula (manómetro instalado en la válvula de control de la unidad de riego-2022)

Una vez encontrada la presión de diseño del sistema procedemos con la probeta a medir los volúmenes que sale en un gotero de riego durante un minuto; para el presente estudio se midieron tres tomas por punto a evaluar para encontrar una estadística más representativa con la realidad, donde podemos apreciar la uniformidad en los volúmenes conforme vayamos tomando las mediciones indicadas anteriormente

Tabla 8: Especificaciones técnicas de cinta gotero

litros / hora	1,86 /h/m
Diámetro interior	35 mm
Espacio entre emisores	12"(30 cm)
Grosor de pared	0,015"
Longitud del molinete	823 m(2,700 ft)



Figura 17: Muestreo de volumen medición de caudal del gotero

La jornada de toma de caudales para su evaluación se hizo al inicio y al final de la cosecha para poder evaluar el sistema instalado con ello podremos obtener alguna comparación del sistema y evaluar si la diferencia es significativa o no.

Tabla 9: Categoría para e evaluar el coeficiente de uniformidad

Valor del coeficiente de uniformidad	Calificación
Mayor de 94%	Excelente
De 86-94%	Buena
De 80-86%	Aceptable
De 70-80%	Pobre
Menor de 70%	Inaceptable

FUENTE: Merriam y Keller (1978)

Tabla 10: Categoría para evaluar el coeficiente de variabilidad

Rango	Clasificación
$CV \leq 0.04$	Excelente
$0.04 < CV \leq 0.07$	Medios
$0.07 < CV \leq 0.1$	Marginales
$0.11 < CV \leq 0.15$	Deficientes
$CV \leq 0.15$	Generalmente inaceptables

FUENTE: Merriam y Keller (1978)

Desviación estándar

Es una medida de dispersión que indica cuánto se apartan los datos con respecto a la media.

$$DE = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}}$$

Dónde:

\sum = significa suma de

X = Es un valor de un conjunto

de datos μ = media de un

conjunto de datos

N = número de datos

Coefficiente de variabilidad (CV)

Medida de dispersión que indica el porcentaje que varían con respecto a la media

$$CV = \frac{DE}{\mu} \%$$

Dónde:

DE = Desviación estándar

μ = media de un conjunto de datos

f. El riego y sus diferentes fases de crecimiento y desarrollo

Las necesidades hídricas del camote durante las primeras dos etapas del ciclo de crecimiento (primeros 60 días), serán mayores al resto del ciclo debido a que requiere más agua para favorecer la producción de tallos, hojas y de las raíces, durante este periodo se alcanza el máximo crecimiento vegetativo. Este crecimiento vegetativo, principalmente de hojas será fundamental para el posterior engrosamiento de las raíces tuberosas en la tercera etapa, en la cual las necesidades hídricas se irán reduciendo conforme se llega a la senescencia de la planta. El uso de tensiómetros, el revisar la presión de riego, la descarga del gotero, así como el riego uniforme del surco ayudan a maximizar el uso del agua.

Según los estudios técnicos de Sánchez y Serna (2018), el camote requiere de 500 a 600 mm de precipitación en todo su ciclo vegetativo. Reynoso (2003) halló un rendimiento promedio de 23.5 t/ha; mientras que con las variedades comerciales Huambachero y Jonathan la media alcanzó rendimientos de 10,6 y 27,3 t/ha. Conociendo las etapas fenológicas del camote determinaremos los requerimientos de la cantidad de agua de riego para su desarrollo.

3.3.3. Evaluar las necesidades hídricas en el cultivo del camote durante su desarrollo

a. Evapotranspiración de referencia (ETo)

Se compiló y consolidó la información base de Estaciones Meteorológicas del CIER y de la Estación DAVIS.

b. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

Coeficiente del cultivo de Camote (Kc)

Este valor es característico del cultivo y de la variedad y teóricamente depende única y exclusivamente de la etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo.

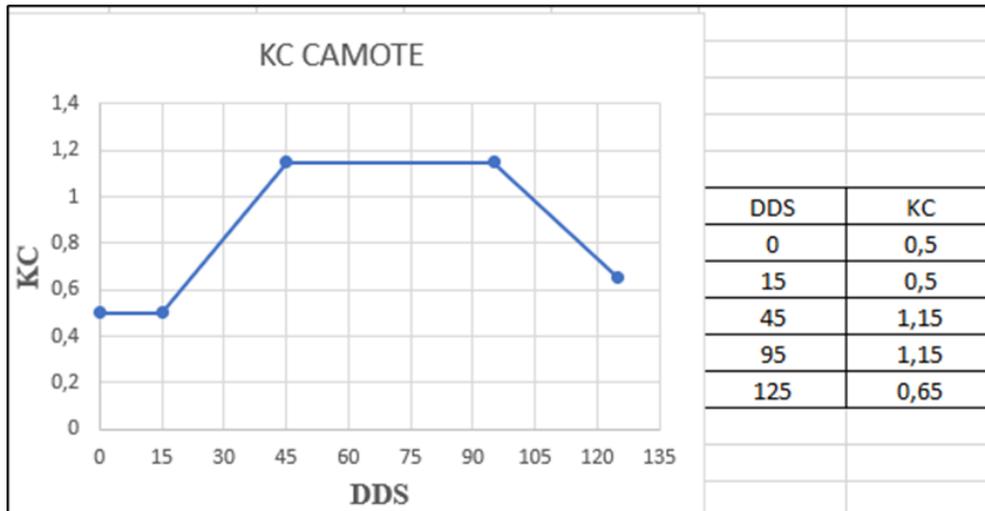


Figura 18: Determinación del Kc del cultivo de camote

c. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

Con el valor del Kc del cultivo se procedió a determinar los valores de la ETC mediante la siguiente fórmula:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo para un mes determinado; (mm/día)

ETo = Evapotranspiración de referencia para un mes determinado; (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo

3.3.4. Evaluar y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y resultados del riego

Debemos realizar la evaluación cuando: se está iniciándose un proyecto, un y monitoreo inicial para ver en qué condiciones estamos empezando el proyecto, el otro cuando se hace una reposición de mangueras y un tercero cuando mi proyecto está encaminado.

Tenemos que tener en cuenta la calidad del agua de los contaminantes físicos químicos y biológicos que definitivamente van a impactar a lo largo de la vida útil del sistema de riego. Otro que tenemos que tener en cuenta es la turbidez del agua para poder establecer una frecuencia de mantenimiento y cómo evoluciona nuestro sistema de riego en el tiempo.

Con el cálculo del coeficiente de uniformidad con base en los datos de campo, se identifica las posibles causas de operación del sistema y se formulan propuestas de operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo.

Manejo del cultivo de camote tiene ciertos períodos críticos en que la falta de agua en el suelo los afecta causando daños que no se puede recuperar.

Para un óptimo rendimiento, el sistema de riego por goteo, requiere de sencillas revisiones de rutina:

- Primero para saber si el Sistema de riego por goteo esté funcionando correctamente, revisar el caudal de la tubería principal. leer el contador de agua y el manómetro. Cualquier variación del caudal y la presión es una señal de que hay problemas en el sistema.
- Las válvulas reguladoras de presión se basan en la resistencia de los resortes y el equilibrio hidráulico. Los resortes de las válvulas reguladoras de presión se pueden romper después de una operación prolongada. Por lo tanto, deben ser inspeccionados y recalibrados cada temporada.

3.3.5. Determinar el rendimiento de producción por el uso tecnificado del riego

a. Evaluación de la cosecha

Área de producción 50 m de ancho por 60 m de largo con un total de 55 surco, se tomaron de muestra para su rendimiento tres surcos completos en las se tuvo un promedio de 170 plantas cada surco.

Culminado el periodo vegetativo del cultivo de camote (140 días) se registraron datos de la producción total por planta y por área. Una vez culminado el periodo vegetativo del cultivo de camote (140 días) se registraron datos de la producción total por planta. La cosecha fue mecanizada.

b. Rendimiento de raíces reservantes por categoría

En la siguiente tabla se muestra la clasificación en base al peso de cada raíz reservante.

Tabla 11: Clasificación del rendimiento de raíces reservantes

	CATEGORÍA	PESO (gr)
Primera	extra	≥ 266
	selecta	135-265
Segunda	comercial	86-134
	doméstica	37-85
Descarte	baby	21-36
	otros	< 20

FUENTE: CIP

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluar el funcionamiento de la subunidad de riego caracterizada en el área

4.1.1. Evaluación del bulbo húmedo

Estas evaluaciones se realizaron en la subunidad de riego V-14 del campo experimental hortícola del huerto de la Universidad Agraria de la Molina (UNALM) se utilizaron cinta goteo (AQUATRAXX AZUL) caudal del emisor 1,86 l/h/ml espaciamiento entre goteros de 0,3m.

Tabla 12: Características iniciales para la prueba

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
TIPO DE SUELO	FRANCO ARENOSO	
Caudal	0,62	l/h
Presión	10	psi

Tabla 13: Características obtenidas para el bulbo húmedo

Emisor	Caudal L/H	Tiempo (H)	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)
EAXxx1222	0,62	1	28	15
	0,62	2	35	19
	0,62	3	45	22
	0,62	4	50	25
	0,62	5	55	35

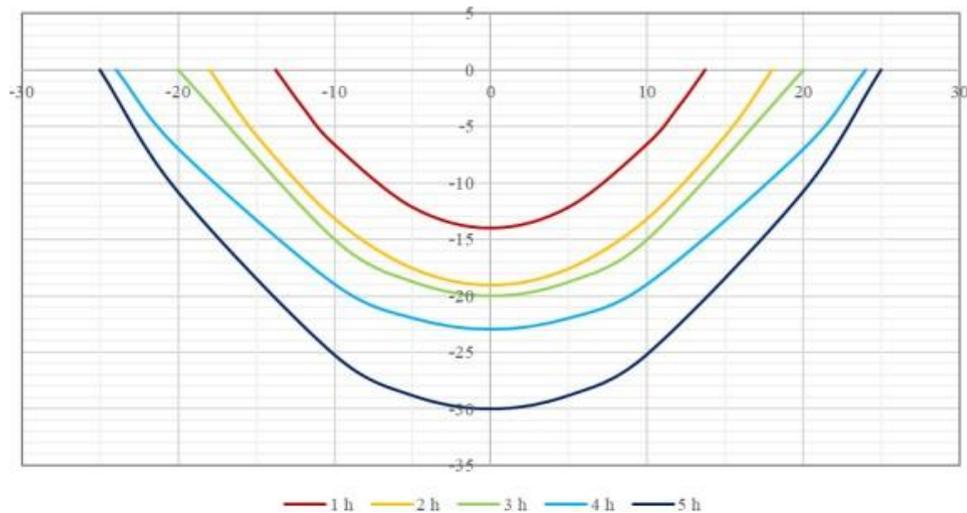


Figura 19: Bulbos de humedecimiento por hora para gotero

En la Figura 19. Del bulbo de humedecimiento se obtuvieron la gráfica aproximada de la porción de suelo mojado en un corte de perfil, a partir del cual se determina que efectivamente a medida que pasa el tiempo por los efectos de gravedad se va incrementando el área que se va mojando y está relacionado a las características del suelo la textura.

4.1.2. Calcular la demanda de agua y tiempo de riego por cinta

El caudal se mide en litros por hora dependiendo los números de goteros por metro. Sector de riego o subunidad de riego viene hacer el área donde está distribuido mi sistema de riego que tiene cintas de riego a partir de este concepto se desarrolla el caudal de la subunidad de riego.

4.1.3. Volumen de agua a aplicar para reponer el agua perdida por evapotranspiración

La evapotranspiración del cultivo (ETc) pudiendo ser datos diarios o acumulativos cada 3 días, 4 días etc. según el agua disponible total como ejemplo:

09/08/2022 ETo acumulado 2,47 mm/día, Kc 0,5 ETc = 2,47 *0,5 =1,24 mm/día.

4.1.4. Lámina bruta (Lb)

Como tenemos riego por goteo la eficiencia será del 90 %

$$Lb = ETc/Ef \quad 1,24/0,9 = 1,38 \text{ mm o } 1,38 \text{ l/m}^2, \text{ demanda por m}^2.$$

Entonces mi área de terreno es de $50\text{m} \times 60\text{m} = 3000\text{m}^2$, mi lámina a reponer será:

$$\text{Dr.} = 1,38 \text{ l/m}^2 * 3000\text{m}^2 = 4,140 \text{ litros}$$

4.1.5. Cálculo del tiempo de riego (Tr)

$$Tr = \frac{\text{Volumen calculado (litros)}}{\text{Gasto de agua por ares por hora}}$$

4.1.6. Cálculo del gasto por área por hora

Datos:

Número de surcos: 55 Goteros a 0,30 m

Gasto de goteros: 0,62 l/h Longitud del surco: 60 m.

4.1.7. Cálculo número de goteros

Surcos de $60\text{m} / 0,30\text{m} = 200$ goteros

Tenemos $55 \text{ surcos} * 200 \text{ goteros} = 11,000$ goteros / área

Si cada gotero tiene una descarga de 0,62 l/h

$11,000 * 0,62 \text{ l/h} = 6820 \text{ l/h}$ $Tr = 4,140 \text{ l} / 6,820 \text{ l/h} = 0,6 \text{ h.}$

Tabla 14: Tiempos de riego, láminas y volúmenes aplicados por etapas fenológicas

ETAPA FENOLÓGICA	DIA	Etc (mm/día)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Dosistotal de riego (mm)	Volumen aplicado (m ³)	Tiempo de riego (h)	Volumen aplicado (m ³)
FASE DE Establecimiento DEL CULTIVO	04/08/2022	0,45	0,45	0,50	0,50	1,49	0,22	30,40
	06/08/2022	1,16	1,16	1,29	1,79	3,83	0,56	
	09/08/2022	1,24	1,24	1,37	3,16	4,08	0,60	
	11/08/2022	1,02	1,02	1,13	4,29	3,35	0,49	
	16/08/2022	3,37	3,37	3,74	8,03	11,12	1,63	
	18/08/2022	0,51	0,51	0,57	8,60	1,68	0,25	
	20/08/2022	1,47	1,47	1,64	10,24	4,86	0,71	
	25/08/2022	4,25	4,25	4,72	14,96	14,03	2,06	
INICIO DE FORMACIÓN DE RAÍCES RESERVANTES	27/08/2022	0,84	0,84	0,93	15,89	2,77	0,41	112,41
	30/08/2022	2,38	2,38	2,65	18,54	7,87	1,15	
	03/09/2022	4,11	4,11	4,57	23,11	13,57	1,99	
	06/09/2022	3,73	3,73	4,14	27,25	12,30	1,80	
	08/09/2022	2,32	2,32	2,58	29,83	7,65	1,12	
	10/09/2022	2,07	2,07	2,30	32,13	6,84	1,00	
	15/09/2022	5,43	5,43	6,04	38,17	17,93	2,63	
	17/09/2022	3,67	3,67	4,08	42,24	12,11	1,78	
20/09/2022	5,26	5,26	5,84	48,08	17,34	2,54		
ETAPA DE LLENADO DE RAÍCES RESERVANTES	24/09/2022	4,78	4,78	5,32	53,40	15,79	2,31	279,58
	29/09/2022	8,64	8,64	9,60	63,00	28,50	4,18	
	01/10/2022	4,34	4,34	4,82	67,81	14,31	2,10	
	04/10/2022	5,95	5,95	6,61	74,42	19,62	2,88	
	06/10/2022	2,66	2,66	2,95	77,37	8,77	1,29	
	08/10/2022	5,04	5,04	5,60	82,97	16,62	2,44	
	11/10/2022	7,20	7,20	8,00	90,97	23,76	3,48	
	15/10/2022	7,10	7,10	7,88	98,85	23,42	3,43	
	18/10/2022	6,27	6,27	6,96	105,81	20,68	3,03	
	22/10/2022	7,21	7,21	8,01	113,83	23,79	3,49	
	25/10/2022	7,43	7,43	8,25	122,08	24,52	3,59	
	28/10/2022	5,97	5,97	6,63	128,71	19,70	2,89	
	01/11/2022	7,37	7,37	8,19	136,90	24,33	3,57	
03/11/2022	4,78	4,78	5,32	142,22	15,79	2,31		

«Continuación»

ETAPA DE MADURACIÓN Y COSECHA	06/11/2022	9,22	9,22	10,25	152,47	30,44	4,46	
	08/11/2022	5,72	5,72	6,36	158,82	18,88	2,77	
	10/11/2022	5,76	5,76	6,40	165,22	18,99	2,79	
	13/11/2022	7,92	7,92	8,80	174,02	26,13	3,83	
	17/11/2022	8,21	8,21	9,12	183,14	27,08	3,97	193,65
	20/11/2022	7,08	7,08	7,86	191,00	23,35	3,42	
	22/11/2022	4,40	4,40	4,89	195,88	14,51	2,13	
	24/11/2022	4,73	4,73	5,26	201,14	15,61	2,29	
	28/11/2022	5,65	5,65	6,28	207,42	18,65	2,73	

En la Tabla 15 en resumen se observa el volumen de agua aplicado en cada etapa fenológica del cultivo de camote donde se observa el mayor volumen de agua en la etapa de llenado de raíces. La cantidad de agua que se empleó fue de 1867,37 m³/ha.

Tabla 15: Cantidad de agua aplicada (m³/ha) en cada etapa fenológica del cultivo de camote

ETAPA FENOLÓGICA	VOLUMEN TOTAL Agua(m ³)/Parcela	Volumen total Agua(m ³)/ha	tiempo de riego (hr)
Fase de establecimiento del cultivo	30,4	92,12	4,48
Inicio de formación de raíces	112,41	240,63	16,48
Etapa de llenado de raíces	279,58	847,2	40,99
Etapa de maduración y cosecha	193,65	587,42	28,39
TOTAL	616,03	1867,37	90,32

4.2. Evaluar los valores de uniformidad en la aplicación del agua en el cultivo

4.2.1. Evaluación de la uniformidad de riego

Para el cálculo de CU se debe obtener muestras de caudales reales y comprobar la uniformidad del sistema de riego esto se debe realizar de la siguiente manera:

- Seleccionamos nuestra subunidad de riego
- en la subunidad de riego seleccionamos 4 surcos y 4 emisores por surco tratando de abarcar todo el sector
- en cada emisor seleccionado medir el volumen de agua entregada en un recipiente luego medir el volumen en una probeta graduada en una cantidad de tiempo determinado.
- realizamos esta prueba al inicio de instalación del proyecto luego a los 40 días después de siembra y a los 100 días después de siembra

Tabla 16: Coeficiente de uniformidad (instalación del cultivo)

	PRIMER EMISOR	EMISOR 1/3	EMISOR 1/4	ÚLTIMO EMISOR
PRIMER LATERAL	0,66	0,648	0,6	0,63
PRIMER 1/3	0,6	0,6	0,615	0,624
PRIMER 2/3	0,65	0,615	0,57	0,6
ULTIMO LATERAL	0,615	0,57	0,6	0,54
Q25% CAUDALES MENORES	0,6	0,57	0,57	0,54
A) PROMEDIO 25% MENOR	0,57		CV	DE
B) Q 100% DE LOSEMISORES	0,60825		0,050923441	0,030974183

C) CU EMISORES (%) A/B	0,937114673
------------------------	-------------

Tabla 17: Coeficiente de uniformidad de caudales (40 dds)

MEDICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AFOROS(ml)	20	18	18,2	17	19,2	20	18	16,5	20	19	18,5	16,5	19,6	18,2	17,3	16
CAUDAL(l/h)	0,6	0,54	0,55	0,51	0,58	0,6	0,54	0,5	0,6	0,57	0,56	0,5	0,588	0,546	0,52	0,48
DE =	0,039															
CV =	0,07															
CU =	0,904															

Tabla 18: Coeficiente de uniformidad de caudales (100 dds)

MEDICIONES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AFOROS(ml)	19	18,5	18	17	20	19,5	18,5	16,8	19,5	18,5	16	16,5	19	18,5	17,4	16
CAUDAL(l/h)	0,57	0,56	0,54	0,51	0,6	0,59	0,56	0,5	0,59	0,56	0,48	0,5	0,57	0,555	0,52	0,48
DE =	0,038															
CV =	0,071															
CU =	0,907															

De los resultados que se muestran en la Tabla 19 se puede decir que el CU a lo largo del experimento se encuentra en un rango de **BUENO** y su CV está en el rango de **MEDIO** durante todo el desarrollo del proyecto

Tabla 19: Resultado de valores de coeficiente de uniformidad obtenidas en el proyecto

ETAPAS	CU	DE	CV
Instalación	0,93	0,031	0,05
A los 40 dds	0,904	0,039	0,07
A los 100 dds	0,907	0,098	0,071

4.3. Evaluar las necesidades hídricas en el cultivo de camote durante su desarrollo

4.3.1. Evapotranspiración de referencias (ETr)

Se consolidó la información de las estaciones meteorológicas de CIER Estación DAVIS.

Tabla 20: La evapotranspiración de referencia de agosto a diciembre del 2022 (mm/día)

Día	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1,62	1,28	2,16	2,24	2,41
2	1,25	1,41	1,72	1,92	2,78
3	0,9	1,75	1,81	2,28	2,82
4	1,2	1,31	0,88	2,72	2,77
5	1,12	1,23	1,43	3,02	1,99
6	0,93	1,98	2,29	2,87	
7	0,71	0,5	2,09	2,36	
8	0,78	0,71	1,99	2,56	
9	0,8	1,41	1,95	2,87	
10	1,23	0,9	2,32	2,88	
11	1,5	1,64	2,35	3	
12	1,23	0,77	1,42	1,96	
13	0,93	0,61	0,42	0,88	

«Continuación»

14	1,62	0,93	1,98	1,88
15	1,46	1,34	2,21	2,88
16	0,49	1,85	1,99	2,82
17	0,41	2,06	1,25	2,73
18	1,09	1	1,19	2,9
19	1,33	1,51	1,6	2,32
20	1,31	0,78	1,5	2,74
21	0,98	1,38	1,93	2,69
22	1,01	1,89	2,03	3,12
23	1,64	0,11	2,33	3,36
24	1,22	1,29	2,1	3,37
25	0,54	1,67	1,18	2,74
26	0,63	0,61	2,23	1,88
27	1,21	2,08	1,78	0,84
28	0,96	1,86	0,79	0,88
29	0,93	2,21	0,06	2,11
30	1	1,56	2,66	3,39
31	1,29		2,9	

4.3.2. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

a. Coeficiente del cultivo de Camote (Kc)

Este valor es característico del cultivo y de la variedad y teóricamente depende única y exclusivamente de la etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo como se muestra en la Figura 20.

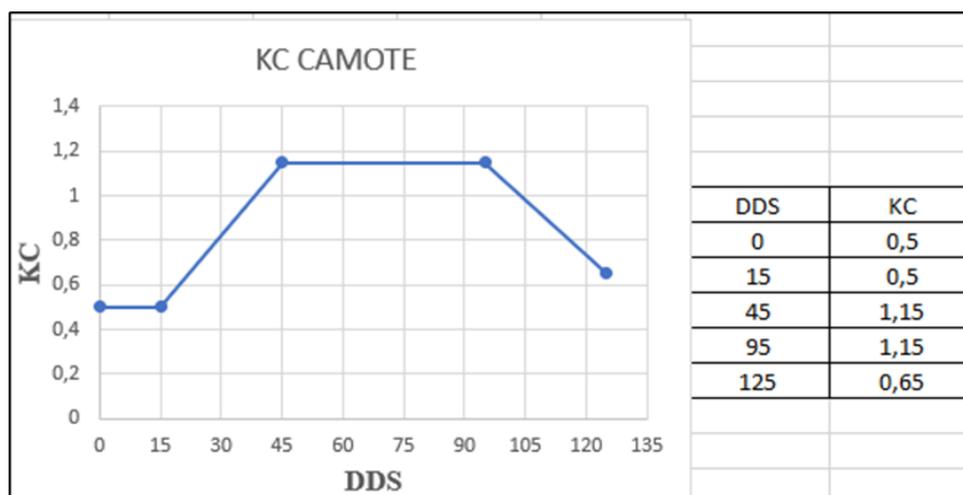


Figura 20: Coeficiente del cultivo de camote Kc según etapas fenológicas

4.3.3. Evapotranspiración del cultivo (Etc.)

El cálculo y resultados de la evapotranspiración del cultivo se presentan en la tabla N° 5. Los datos fueron tomados de la estación meteorológica de Recursos Hídricos, Estación Davis Tanque tipo A - Facultad de Ingeniería Agrícola de La Molina, se han procesado los datos para obtener la evapotranspiración del cultivo.

Tabla 21: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

dia	E to acum. mm/dia	Kc	Etc mm/dia	dia	E to acum. mm/dia	Kc	Etc mm/dia
04/08/2022	0,9	0,5	0,450	04/10/2022	5,17	1,15	5,9455
06/08/2022	2,32	0,5	1,160	06/10/2022	2,31	1,15	2,6565
09/08/2022	2,47	0,5	1,235	08/10/2022	4,38	1,15	5,037
11/08/2022	2,03	0,5	1,015	11/10/2022	6,26	1,15	7,199
16/08/2022	6,74	0,5	3,370	15/10/2022	6,17	1,15	7,0955
18/08/2022	0,9	0,566	0,509	18/10/2022	5,45	1,15	6,2675
20/08/2022	2,42	0,609	1,474	22/10/2022	6,27	1,15	7,2105
25/08/2022	6,16	0,69	4,250	25/10/2022	6,46	1,15	7,429
27/08/2022	1,17	0,7175	0,839	28/10/2022	5,19	1,15	5,9685
30/08/2022	3,1	0,769	2,384	01/11/2022	6,41	1,15	7,3715
03/09/2022	4,98	0,826	4,113	03/11/2022	4,16	1,15	4,784
06/09/2022	4,29	0,869	3,728	06/11/2022	8,02	1,15	9,223
08/09/2022	2,48	0,9345	2,318	08/11/2022	5,25	1,09	5,7225
10/09/2022	2,12	0,978	2,073	10/11/2022	5,43	1,06	5,7558
15/09/2022	4,85	1,12	5,432	13/11/2022	7,84	1,01	7,9184
17/09/2022	3,19	1,15	3,669	17/11/2022	8,46	0,97	8,2062
20/09/2022	4,57	1,15	5,256	20/11/2022	7,95	0,89	7,0755

Una vez obtenido los valores de ETo y Kc se procedió a determinar la Etc (tabla 14), teniendo los mayores valores en los meses más secos de septiembre y octubre, con valores de 4.01 y 4.03 mm/día, respectivamente

4.3.4. Las necesidades hídricas del cultivo de camote

- Las necesidades hídricas del cultivo de camote en el desarrollo fenológico fueron:
- La primera fase o fase de establecimiento del cultivo huambachero (04/08/2022), hasta los 15 dds. Las semillas o esquejes prendidos fueron del 94% del total de semillas. Su Etc. desde 0,45 – 1,47 mm, el kc = 0,5, el volumen

aplicado.

- Segunda fase o fase inicio de formación de raíces reservantes empieza a los 45 dds; su Etc.= Max 5,45mm su Kc promedio de 1,15 volumen requerido 112.41 m³
- La tercera fase o fase de llenado de raíces reservantes hasta los 100 dds su Etc. Max=8,64mm Kc 1,15, el volumen requerido 279,58 m³, etapa donde se requiere más volumen de riego.
- La cuarta etapa o etapa de maduración y cosecha hasta los 123 dds su Etc. Max=9,22mm Kc=0,65 Volumen requerido 193,65 m³ (tabla n° 5).

4.4. Evaluar y establecer criterios de manejo que mejoren la eficiencia y resultados del riego

Tabla 22: Datos de presión de trabajo

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CAUDALES		
Instalación del cultivo camote		
V-14 Q nominal 1,86 lph/1m	Espaciamiento entre goteros 0,30m	presión = 0,7 bar
PRESIÓN = 12 PSI		
TIEMPO = 2 minutos V=ml	2	0,06

Tenemos una presión de 12 psi en el arco de riego luego una presión de 0,7 bar en la salida de los laterales estas presiones se mantuvieron durante las evaluaciones posteriores es importante trabajar con un caudal de operación promedio. Al realizar las pruebas de coeficiente de uniformidad se presentaron problemas puntuales como son roturas de cintas, emisores de goteros con caudales mayores, presión de arranque mayor de lo normal siendo solucionado en el acto.

Se ha podido establecer que no tenemos problemas con los contaminantes químicos debido a que no se utiliza el sistema de fertirriego en cuanto a la turbidez del agua si existe lo cual se ha podido establecer una frecuencia de mantenimiento a los 30 días con el fin de limpiar los laterales de cinta. Las válvulas reguladoras de presión se han inspeccionado y recalibrado para su operación del sistema.

4.5. Determinar el rendimiento de producción por el uso tecnificado del riego

4.5.1. Análisis de cosecha

Se han evaluado tres líneas de surco con un promedio de 170 plantas por línea de un total de 55 líneas de surco de 60 m largo. El rendimiento de cosecha ha sido 33,3 Tn/ha. Los resultados se muestran en las tablas 23 y 24.

Tabla 23: Resultados de cosecha (170 p) por línea

Clasificación comercial	Sub-clase	Línea1	Línea2	Línea3	Subtotal/subclase	Total/clase
PRIMERA	extra	10,4	12,8	15,6	38,8	230,5
	selecta	70,6	65,7	55,4	191,7	
SEGUNDA	comercial	50,2	48,3	52,7	151,2	257,2
	domestica	30,3	35,6	40,1	106	
DESCARTE	baby	20,6	30,2	35,5	86,3	117,4
	otros	10,1	8,8	12,2	31,1	
TOTAL		192,2	201,4	211,5	605,1	605,10

Promedio de las tres líneas de surco =
 201,7 kg En 55 surcos 11093,5 kg
 (60m*50m) Proyección ha = 36978,3
 kg = 36,9 Tn/ha

Tabla 24: Clasificación del rendimiento de cosecha de camote huambachero (Tn/ha)

CLASIFICACION		RENDIMIENTO		
		Tn/Ha	% PARCIAL	% TOTAL
PRIMERA	EXTRA	2,37	6,42	38,2
	SELECTA	11,72	31,8	
SEGUNDA	COMERCIAL	9,24	24,9	42,4
	DOMESTICA	6,47	17,5	
DESCARTE	BABY	5,27	14,3	19,4
	OTROS	1,9	5,14	
TOTAL		36,97	100,06	100

Para la evaluación económica se lograron 9350 plantas (94% del total). El rendimiento del follaje verde (1,3-1,95 kg /planta) cuyo rendimiento fue de 15 tn/ parcela, y 45 tn/ha. El rendimiento de raíces reservantes total 605,1 kg/parcela y según la clasificación comercial:

- Comercial primera 230,5 kg

- Segunda 257,2 kg
- Descarte 117,4 kg.
- Por surco $=487,7/3 = 162,5$ kg
- Para 55 surcos $= 162,5 * 55=8941,1$ kg/parcela Por hectárea $= 29,803,8$ kg/ha $= 29,8$ tn/ha.

Tabla 25: Clasificación del rendimiento

CLASIFICACION	RENDIMIENTO	
	Tn/Ha	%
PRIMERA	14,1	38,2
SEGUNDA	15,7	42,4
DESCARTE	7,2	19,4
TOTAL	37	100

V. CONCLUSIONES

- La revisión periódica del funcionamiento del sistema de riego debe ser una práctica indispensable, es así como la medición del volumen de descarga de los emisores y la presión en el cual se encuentra operando el equipo permitirán hacer las correcciones necesarias al sistema de riego.
- El sistema de riego por goteo es una gran inversión por su alta eficiencia en la distribución del agua en el campo de cultivo, sin embargo, cabe destacar que el mantenimiento en forma regular es la garantía de que se tenga el sistema de riego en buenas condiciones de funcionamiento.
- El sistema de riego por goteo está diseñado para operar entre 0,8-12 psi, comprobadas las presiones respectivas en la subunidad. El sistema fue evaluado mediante el aforo en 16 puntos de emisión de los goteros de cinta en el cultivo de camote en tres etapas: A la instalación del cultivo; a los 40 dds y a los 100 dds. De esta información se desprende que el gasto medio del 25 % de valores menores con menor aforo fue de 0,57 l/h; 0,495 l/h; 0,49 l/h. El gasto medio de muestra fue de 0,60 l/h; 0,54 l/h, 0,53 l/h. La desviación estándar fue 0,03, 0,03, 0,04 respectivamente.
- Los valores de uniformidad en la aplicación tuvieron un coeficiente de variación de 0,05; 0,07; 0,07, lo cual resultó en el rango de EXCELENTE. Por lo tanto, el valor del coeficiente de uniformidad en porcentaje resultó de 93 %; 90 % y 90 %, se encontraron dentro del rango de BUENA. En la práctica es difícil operar el sistema con una uniformidad perfecta o ideal.

- Para evaluar el funcionamiento de la subunidad de riego se calculó el caudal de la unidad de; lateral de cinta con gotero incorporado, espaciamento entre emisores 0,30 m; el área de la sub unidad de 50 m*60 m.
- Para el funcionamiento de la sub unidad de riego requiero de un caudal de 6,138 l/h. Los resultados de las evaluaciones de campo con respecto al coeficiente de uniformidad resultaron mayores del 90% de eficiencia de riego, lo cual los asegura la eficiencia del sistema de riego y el buen estado del equipo con muy buena y eficiente distribución del agua en el campo.
- El volumen de agua aplicado (m^3), para la primera fase de 30,4 m^3 , para la segunda 112,41 (m^3), para la tercera fase 279,58 (m^3), para la cuarta fase 193,6 (m^3). Este resultado nos indica la importancia del conocimiento de las necesidades hídricas del cultivo de camote durante su desarrollo fenológico en dichas etapas para dotar al cultivo de este recurso en la cantidad adecuada.
- Total, volumen de agua aplicado fue de 616,03 m^3 en un área de 50 m*60 m. Ello implica que el volumen a aplicar para 1 ha se proyecta en 1867,37 m^3 , siendo un volumen de agua mucho menor que de un riego por gravedad.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el mantenimiento habitual del arco de riego para el buen funcionamiento del sistema de riego.
2. En periodos de mayor uso del sistema de riego debemos de realizar como mínimo tres mediciones de CU en cada sector o subunidad de riego, lo cual ayudaría a corregir posibles fallas (obturación de emisores, falla de válvulas, fugas no visibles en matrices, fallas de filtro, etc).
3. Usar los instrumentos de medición como el manómetro en buen estado para medir las presiones correctas de funcionamiento.
4. Dentro de las subunidades de riego se observan las válvulas reguladoras de presión deben ser inspeccionadas y calibradas cada temporada de uso del sistema.
5. Es recomendable que el rango de CU nunca sea menor que un 90% de uniformidad. Con rangos menores a éste es necesario hacer una investigación del sistema de riego para poder detectar las fallas y corregirlas.
6. Se recomienda comprobar los caudales y presión en cada turno de riego después de que el sistema esté activado durante 30 minutos y esperar que la presión se haya estabilizado.
7. Hacer mantenimiento al sistema para cada temporada de uso (lavado de líneas principales y los sumideros para que los sedimentos no se acumulen).

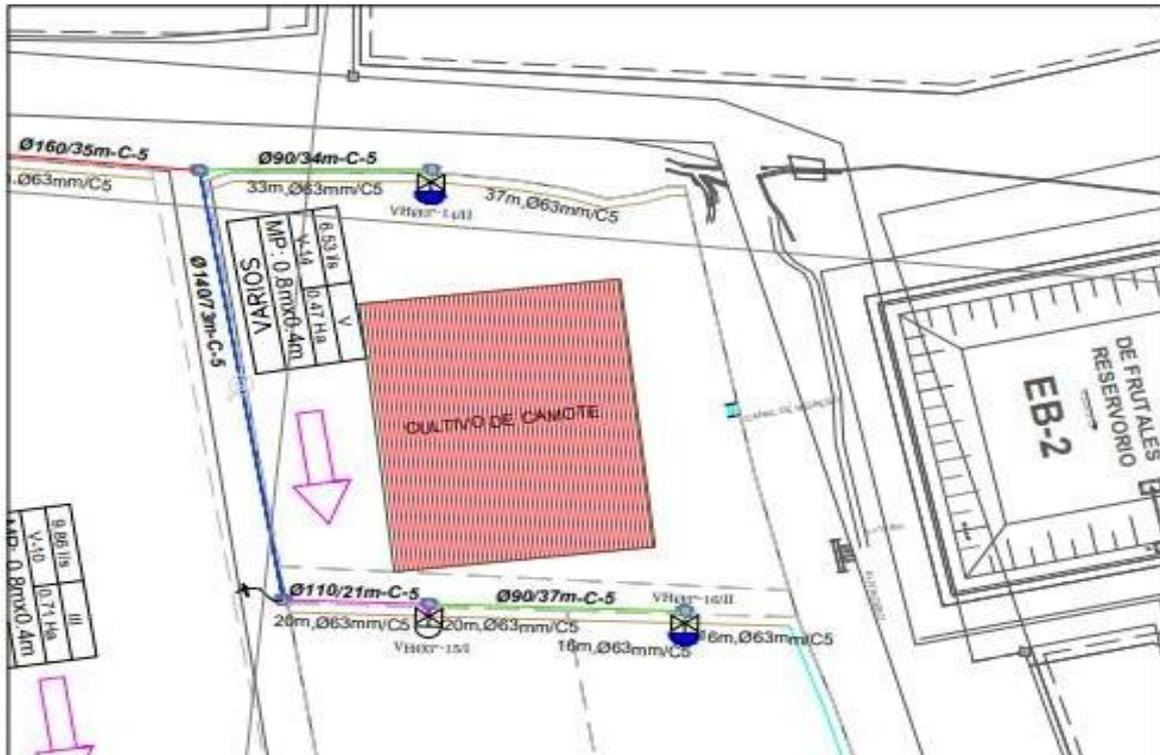
8. Se recomienda hacer mayores investigaciones en manejo del riego en camote, así como la de seguir probando las técnicas de riego por goteo en función de las eficiencias de riego sobre todo en la época de verano donde el cultivo de camote está en su fase de desarrollo.
9. El cultivo de camote debe ser considerado como una alternativa de cultivos dentro de un plan de rotación de cultivos en sistemas de riego por goteo.
10. Realizar un mejor control de la humedad en el suelo mediante sensores de humedad para luego hacer una comparación con los valores registrados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S. & Pruitt, W.O. (1997). Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements. *Acta Hort.*, 449, 17-34. Recuperado de <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.2>
- Briceño, M., Álvarez, F. y Barahona, U. (2012). Manual de riego y drenaje. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/items/7f23f41f-6d3f-4dce-a57c-1d5b56c8cf86>
- Cambronero, D. (2012). *Comparación del comportamiento agronómico e incidencia viral entre esquejes de camote (Ipomoea batatas), obtenidos in vitro y esquejes provenientes de plantaciones comerciales, en la región Huetar Norte* (Tesis de Licenciatura). Santa Clara de Florencia, San Carlos. Tecnológico de Costa Rica.
- Castillo Matamoros, R., Brenes Angulo, A., Esker, P. y Gómez Alpizar, L. (2014). Evaluación agronómica de trece genotipos de camote. *Agronomía Costarricense*. 38(2), 67-81. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242014000200006&script=sci_abstract&tlng=es
- Cobeña Ruiz, G., Cañarte Bermúdez, E., Mendoza García, A., Cárdenas Guillén, F.M. y Guzmán Cedeño, A. (2017). Manual técnico del cultivo de camote. *Manual*, 106. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4789>
- Cusumano, C. y Zamudio, N. (2013). Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato), en la provincia de Tucumán (Argentina). INTA. Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15951/INTA_CRTucumán-Santiago%20del%20Estero_EEAFamaillá_Cusumano_C_Manual_tecnico_cultivo_batata_Tucuman.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *Estudio Riego y Drenaje*, 56. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (1994). Irrigation – energy planning and management in developing countries. *In: Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems* (5th ed.), p. 27 – 41. <https://www.fao.org/3/a0975e/a0975e.pdf>
- Fuentes Yagüe, J. (2003). *Técnicas de riego* (4ª ed.). Ediciones Mundi- Prensa.

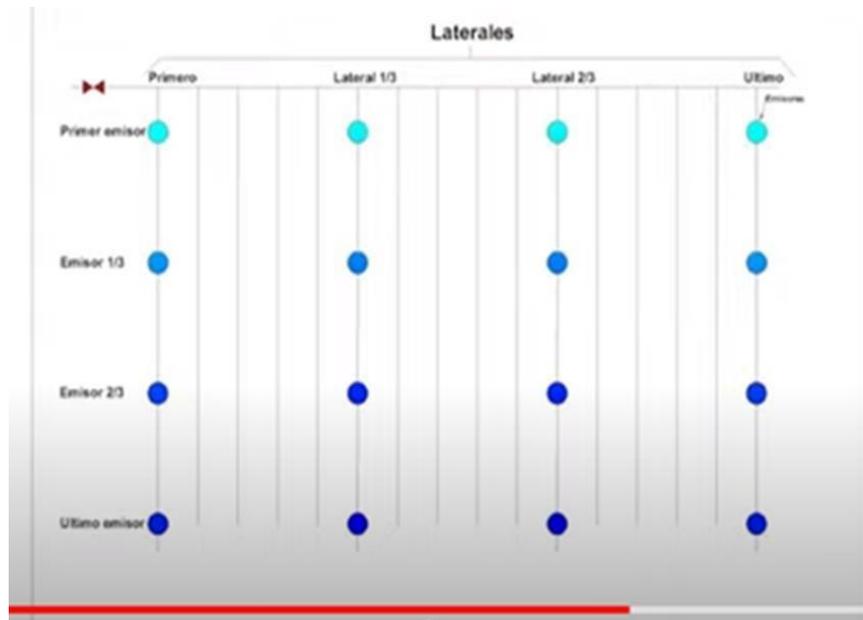
- Hanks, R.J. (1985). Crop coefficients for transpiration. *Advances in Evapotranspiration. Proceedings, National Conf. Advances in Evapotranspiration., ASAE, Chicago, IL., 431-438.*
- Íñiguez Íñiguez, M. y Valarezo Manosalvas, C. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador: una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos.* Universidad Nacional de Loja.
- Merriam, J.L. & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management* (3rd ed.). Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAG745.pdf
- Pizarro Cabello, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)* (3ª ed. Rev. Y ampl.) Mundi-Prensa.
- Rázuri, L. (1975). *Estudios del coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación de agua en el sistema de riego de agua.* Editorial Rey.
- Sánchez Delgado, M.A. y Rivera Serna, L.G. (2018). Aplicación de dos modalidades de riego por goteo en el crecimiento y producción de camote (*Ipomoea batatas* L., variedad INIA 320). *Anales Científicos*, 79(1), 144-150. Recuperado de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1151>
- Sánchez Moreiras, A., Reigosa Roger, M. J. y Pedrol Bonjoch, N. (2003). *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis.* Tohmson-Paraninfo.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal.* Publicacions de la Universitat Jaume I. recuperado de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FisiologiaVegetalVolumenII%20espanhol.pdf>
- USDA. (1979). *Study guide textural classification.* Washington.

Anexo 2: Plano de ubicación de la Parcela Experimental



FUENTE elaboración propia

Anexo 3: Plano para el cálculo de coeficiente de uniformidad de caudales



Anexo 4: Esquemas de evaluación (sector lateral entero)



Anexo 5: Esquema de evaluación Sector Laterales partidos



Anexo 6: Planilla para recolección de datos de campo

N° Válvula	Ub.emisor	Hilera			
		Primero	1/3h	2/3h	Ultimo
		I	VII	XIV	XXII
1	Primero				
	1/3h				
	2/3h				
	Ultimo				

N° Válvula	Ub.emisor	Hilera			
		Primero	1/3h	2/3h	Ultimo
		I	VII	XIV	XXII
1	Primero				
	1/3h				
	2/3h				
	Ultimo				

Anexo 7: Raíz tuberosa del camote

