

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Continuidad del bulbo húmedo en sistemas de riego por
goteo subsuperficial – San José de Ticllas**

Ayacucho, 2014

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

Edwin Quispe Jauregui

Ayacucho - Perú

2018

A mis padres: Alejandro Quispe y Justina
Jauregui, por su amor, trabajo y sacrificio.
A mi esposa Teófila Sosa por su apoyo
incondicional.

A mi hijo Abdiel que es mi principal
motivación y a mis hermanos

AGRADECIMIENTO

A la **Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Facultad de Ciencias Agrarias** por ser mi alma Mater y abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de superación y a cumplir esta importante meta de mi vida y en forma especial a la **Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola**, por haberme acogido en sus aulas y brindarme una formación profesional y a los docentes quienes conforma esta prestigiosa Escuela por los aportes académicos impartidos.

A mi asesor de Tesis Ing. Herbert Núñez Alfaro quien fue participe en la elaboración de la tesis.

A Dios, por darme la vida y las fuerzas para superar los obstáculos.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo y conclusión de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de anexos.....	vii
Lista de símbolos.....	viii
Resumen.....	1
Introducción.....	3
CAPITULO I MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Antecedentes de la investigación.....	5
1.2 Definición de riego.....	6
1.3 Riego localizado.....	7
1.4 Riego por goteo subsuperficial (RGS).....	7
1.5 Flujo del agua en el suelo.....	16
1.6 Programación de riego localizado.....	19
1.7 Cultivo de arveja.....	27
CAPITULO II METODOLOGÍA.....	29
2.1 Ubicación del ensayo.....	29
2.2 Materiales y equipos.....	32
2.3 Metodología.....	33
CAPÍTULO III RESULTADOS.....	57
3.1 Resultado de la evaluación del bulbo húmedo.....	57
3.2 Coeficiente Uniformidad CU.....	59
3.3 Consumo de agua bajo el riego por goteo subsuperficial.....	60
3.4 Resultado de la evaluación Eficiencia de aplicación.....	62

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	69
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Valores del factor M.....	12
Tabla 1.2	Coefficientes del tanque evaporímetro (Kp) Clase A para diversas localizaciones.....	21
Tabla 2.1	Resultados del análisis físico del suelo.....	33
Tabla 2.2	Resultados del análisis de calidad de agua.....	34
Tabla 2.3	Datos obtenidos de prueba de campo.....	35
Tabla 2.4	Descripción de los tratamientos de estudio.....	37
Tabla 2.5	Valores de Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETo.....	39
Tabla 2.6	Elección del emisor y su disposición.....	40
Tabla 2.7	Valores recomendados para caracterizar el coeficiente de uniformidad.....	46
Tabla 2.8	Características de las cintas de goteo.....	50
Tabla 2.9	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.....	51
Tabla 3.1	Análisis de varianza entre la diferencia de profundidad- volumen de agua aplicado.....	58
Tabla 3.2	Análisis de varianza entre la diferencia de radio - volumen de agua aplicado.....	58
Tabla 3.3	Variación del coeficiente de uniformidad con respecto al tiempo de riego.....	59
Tabla 3.4	Resultados de eficiencia de aplicación.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Curva Caudal vs Presión para goteros.....	10
Figura 1.2	Laterales alimentados por un extremo (Sub caso 3.2).....	15
Figura 1.3	Triangulo de clasificación textural.....	17
Figura 1.4	Forma del bulbo húmedo en suelos de diferente textura.....	19
Figura 1.5	Tanque evaporímetro tipo A.....	20
Figura 1.6	Casos de localización del tanque de evaporación.....	21
Figura 1.7	Curva de variación por advección.....	23
Figura 2.1	Variables climatológicas de estación meteorológica de Quinoa.....	30
Figura 2.2	Ubicación general del área de experimentación.....	31
Figura 2.3	Forma del bulbo húmedo a 2 horas de riego con un caudal de 1.6l/h.....	35
Figura 2.4	Bloques para la evaluación de los tratamientos del experimento...	36
Figura 2.5	Unidad experimental para la evaluación.....	37
Figura 2.6	Esquema de diseño agronómico.....	38
Figura 2.7	Diagrama de presiones en una subunidad de riego.....	43
Figura 2.8	Esquema de diseño agronómico.....	46
Figura 2.9	Red de distribución en una instalación de riego localizado.....	48
Figura 2.10	Evacuación del bulbo húmedo en riego por goteo subsuperficial a tres profundidades.....	50
Figura 2.11	Laterales y emisores que se seleccionaron para evaluar la subunidad.....	52
Figura 2.12	Evaluación de Coeficiente de Uniformidad.....	53
Figura 2.13	Registro precipitación y evapotranspiración por el Método de Tanque Clase A.....	54
Figura 2.14	Curva de Kc del cultivo de arveja.....	54
Figura 3.1	Dimensiones de la sección transversal del bulbo húmedo ($q=1,6l.h^{-1}$).....	58
Figura 3.2	Comparación de CU en tres profundidades de riego.....	60
Figura 3.3	Volumen total de agua aplicado ($m^3. ha^{-1}$) sometidos a cuatro profundidades de riego en cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)....	61
Figura 3.4	Eficiencia de aplicación en tres profundidades de riego.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

		Pág.
Anexo 1.	Resultados de análisis físico y químico del suelo.....	72
Anexo 2.	Resultados de análisis de agua.....	73
Anexo 3.	Datos de estación meteorológica (Quinua).....	74
Anexo 4.	Resultados de la Evapotranspiración del cultivo ETo.....	78
Anexo 5.	Catálogos de equipos de riego.....	79
Anexo 6.	Estudio de la influencia del tipo de suelo.....	80
Anexo 7.	Elección del emisor.....	80
Anexo 8.	Coefficientes del Gotero.....	81
Anexo 9.	Cálculo Hidráulico en lateral de Riego.....	82
Anexo 10.	Resumen del Cálculo Hidráulico de la Sub. Unidades de Riego....	84
Anexo 11.	Cálculo Hidráulico en Porta lateral de Riego.....	85
Anexo 12.	Resumen del Cálculo Hidráulico en Porta Lateral de Riego.....	86
Anexo 13.	Presiones en toda la Sub. Unidades de Riego.....	87
Anexo 14.	Pérdida de carga en cabezal, arco de riego y total (ADT).....	88
Anexo 15.	Cálculo hidráulico de la red secundario y principal.....	88
Anexo 16.	Datos Promedios de secciones transversales del bulbo húmedo correspondiente a $Q=1.6 \text{ l.s-1}$ en la parcela experimental.....	89
Anexo 17.	Datos tomados del campo del experimento.....	89
Anexo 18.	Programación de riego.....	90
Anexo 19.	Fotografías del proceso de instalación y evaluación del sistema de riego por goteo subsuperficial, en la producción de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.). Chullumpampa 2014.....	94

LISTA DE SÍMBOLOS

RGS	:	Riego por goteo subsuperficial
RG	:	Riego por goteo superficial
ET	:	Evapotranspiración
ET0	:	Evapotranspiración del cultivo de referencia
ETrl	:	Evapotranspiración real del cultivo
Kl	:	Factor de corrección por efecto de localización
Kad	:	Factor de corrección por efecto de advección
Kcl	:	Factor de corrección climática
ETc	:	Evapotranspiración del cultivo bajo estándar
Epan	:	Evapotranspiración del tanque evaporímetro clase “A”
HR	:	Humedad relativa
Kc	:	Coefficiente del cultivo
Kp	:	Coefficiente del tanque evaporímetro clase “A”
Pe	:	precipitación efectiva
CU	:	Coefficiente de uniformidad
e	:	Número de emisores por metro cuadrado.
Sp	:	Superficie ocupada por la planta.
P	:	Porcentaje de suelo mojada.
a	:	porcentaje de solape
t	:	Tonelada
ha	:	Hectárea
Nn	:	Necesidad neta
Nt	:	Necesidad total
RLAF	:	Riego localizado de alta frecuencia
Pp	:	Perdidas por percolación
Lr:		Necesidades de lavado
CEi	:	Conductividad eléctrica del agua de riego
CEemax	:	Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo
q25	:	Caudal medio de los emisores de 25 % de más bajo caudal
qa	:	Caudal medio del total de los emisores.

Ea	:	Eficiencia de aplicación.
Aa	:	Agua aplicada.
Re	:	Humedecimiento efectivo
Rm	:	Radio mojado
pr	:	Profundidad radicular
Smax	:	Separación Máxima entre emisor
Ame	:	Área mojada por un emisor
Sl	:	Separación entre laterales.
Tr	:	Tiempo de riego
qe	:	Caudal del emisor
ha	:	Presión de trabajo de gotero
hns	:	Presión mínima del gotero
hmáx	:	Presión máxima de carga permisible.
ΔH	:	Perdida de carga permisible en una subunidad
Hm	:	Presión de entrada en la subunidad.
Hn	:	Presión de mínimo de la subunidad.
hm	:	Presión de entrada en lateral.
h u	:	Presión mínima en lateral.
ΔHl	:	Variación de presiones permitida en lateral.
ΔHt	:	Variación de presiones permitida en terciaria.
J	:	Perdida de carga unitaria
	:	Perdida de carga por efecto de conexión
Se	:	Separación entre emisores
fe	:	Longitud equivalente e la conexión de un emisor
n	:	Numero de emisores por ramal
i	:	Pendiente del terreno
hf	:	Perdida de carga

RESUMEN

El presente estudio titulado “Continuidad del Bulbo Húmedo en Sistemas de Riego por Goteo Subsuperficial – San José de Ticllas, 2014”, se realizó en la comunidad de Santa Rosa de Chullumpampa; con el objetivo de estudiar el efecto del sistema de riego por goteo subsuperficial, para lo cual se utilizó un diseño de completamente al azar, con cuatro tratamientos, y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: 1T, 2T y 3T =goteo subterráneo con (6,12 y 18cm.) de profundidad respectivamente y 4T = goteo superficial (testigo). Para determinar la forma y dimensión del bulbo húmedo generado por el flujo de agua de un gotero autocompensada de 1.6 l.h^{-1} , se ha incorporado agua a profundidades de (6,12 y 18cm.) con tiempos de riego 1.4, 1.6 y 1.8 horas respectivamente y 2 horas para 4T, del cual quisiéramos señalar que el conocimiento de las formas y dimensiones del bulbo húmedo obtenido permitirá determinar con bastante exactitud el tiempo necesario para humedecer un determinado volumen de suelo.

El comportamiento del CU (%) bajo el sistema por goteo, para el inicio de campaña fue de 93% y para el final 92%, ambos valores obtenidos para este índice fueron elevados, estando comprendidos entre 90 y 100 % valores que lo sitúan con categoría de excelente según Merriam y Keller (1978).

La eficiencia de aplicación encontrada en los tratamientos 1T, 2T y 3T es EA= 68 a 100% y para el 4T EA= 97 a 100%, parámetro que permite concluir que la eficiencia de aplicación del sistema de riego por goteo subsuperficial fue eficiente, donde se puede clasificar como buena para el estudio.

La utilización de la metodología FAO - Tanque evaporímetro fue fundamental para la estimación de las necesidades del requerimiento de agua del cultivo, donde los resultados indicaron que para el riego por goteo superficial (4T) fue de $3360.22 \text{ m}^3. \text{ ha}^{-1}$, lo cual fue superior al utilizado en los tratamientos en riego por goteo subsuperficial 1T ($3358.74 \text{ m}^3. \text{ ha}^{-1}$), 2T ($3353.21 \text{ m}^3. \text{ ha}^{-1}$) y 3T ($3345.44 \text{ m}^3. \text{ ha}^{-1}$). En cuanto al rendimiento (13.43 Tn.ha^{-1}) se obtuvo mayor rendimiento de arveja con 6 cm profundidad de riego.

INTRODUCCIÓN

El problema principal en el riego es la escasez del recurso hídrico; en la sierra peruana las actividades agrícolas están supeditadas al recurso agua el cual cada vez es más escaso y limitante para el normal desarrollo de cultivos. La tendencia de escasez de agua se agudiza cada vez más por factores como el crecimiento demográfico, la sequía y desertificación; los cuales ejercen constante presión principalmente sobre el recurso agua.

FAO (2017) señala que la producción de alimentos podría verse afectados por la escasez de agua, sobre todo en alimentos cereales. En estudios realizados estima que el 20% de los países sufrirá la escasez de agua y estima que el agua destinado a la producción de alimentos mediante el riego aumentará un 14% hasta el año 2030. En este sentido, una de las estrategias para aumentar la eficiencia en el uso de agua, es la utilización de sistema riego más eficiente como es el riego goteo subsuperficial (RGS) (Thomsopson et al., 2009), es una alternativa para resolver en parte este problema de escasez de agua (Cruz y Levine, 1998).

Mediante el (RGS) se ha logrado mejorar la eficiencia del uso del agua, provocado por la reducción de pérdida por escorrentía, percolación y evaporación (Cam, 1998; Martínez y Reca, 2005). La presente investigación ha tenido por objetivo:

Objetivo general

Evaluar la continuidad del bulbo húmedo en sistema de riego por goteo subsuperficial, con emisores distanciados a 40 cm. e instalados 06-12-18 cm. de profundidad en localidad de Villa Santa Rosa de Chullunpampa durante el año 2014.

Objetivos específicos

1. Estudiar el bulbo húmedo mediante el sistema de riego por goteo subsuperficial, instalados 06-12-18cm de profundidad.
2. Conocer los CU del sistema de riego por goteo subsuperficial instalados 06-12-18 cm. de profundidad.
3. Determinar el consumo de agua bajo el sistema de riego por goteo subsuperficial que permita mejorar rendimiento del cultivo.
4. Evaluar la eficiencia de aplicación de sistema de riego por goteo subsuperficial instalados 06-12-18 cm. de profundidad.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El riego por goteo tuvo su inicio en el año de 1860 surgida en el país de Alemania donde se empleó una especie de riego por goteo subsuperficial (Marhuenda, 1999).

El RG consiste en distribuir pequeñas cantidades de agua por medio de un emisor, que se localizan por debajo de la superficie, lo que permite mantener una humedad adecuada y permanentemente en la zona radical. Con este método el sistema es altamente eficiente, entre el 80 y el 95 % (Subirós 2000).

El sistema de RGS actualmente se encuentra en expansión en varios países tales como Estados Unidos, Hawaii, Venezuela y Brasil, empleados en varios cultivos como: melón, caña de azúcar, ornamentales, hortalizas y maíz, donde se observaron el incremento en el rendimiento entre el 16 y el 22 % en Hawaii y 7 y el 38 % en Florida – Estados Unidos, en comparación con el sistema tradicional de riego (Subirós, 2000) & (Marhuenda, 1999).

Requena (1998) manifiesta que el RGS, que a las ventajas comparativas son mayores con respecto de otros métodos de riego localizado.

Camp (1998) al realizar un estudio exhaustivo sobre sistema de riego por goteo subsuperficial, llegó a la conclusión de que los rendimientos de los diferentes cultivos son mayores o iguales a los obtenidos por otros métodos, incluyendo goteo superficial.

Ben-Asher & Phene (1993) manifiestan, que al aplicar una misma cantidad de agua al suelo mediante el sistema de RG y RGS en un suelo franco arcilloso, observaron que mediante el sistema de RGS se alcanzó un radio de humedecimiento de 10% menor que en RG, pero sin embargo el área y el volumen humedecido fueron un 62 y 46% mayores que el RG.

Evet et al. (1995) manifiesta, que mediante el sistema de RGS hay una reducción de 13,9% de la evapotranspiración en comparación con RG.

Herrera (2014), menciona de su investigación realizada bajo condiciones de invernadero, con la finalidad de determinar la profundidad de localización de la cinta de riego, que tenga mayor eficiencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), con dos dosis de fertilización órgano-mineral. Obteniendo 182 t. ha⁻¹, con 5 cm de profundidad de cinta de riego y con la dosis más baja de fertilización.

Quintero (2000), manifiesta que los laterales de riego por goteo instaladas a 10 a 20 centímetros de profundidad para el cultivo melón (*Cucumis melo var. reticulata*), no influyeron en el rendimiento cajas por hectárea. Los laterales instalados a 30 a 40 centímetros de profundidad, obtuvieron 226 cajas menos por hectárea por año, con respecto al testigo (superficial).

1.2. DEFINICIÓN DE RIEGO

El agua aplicada mediante el riego se infiltra hacia las raíces para suplir al suelo la humedad requerida de las plantas, directamente la zona de raíces a través de un sistema de emisores (goteo). (Claude H., & Pair, 1983).

Según Rodas & Cisneros (2000), mencionan mediante el sistema de RG. no existen las pérdidas en conducción (como en el riego por gravedad o superficial), escorrentía superficial (agua que corre en la superficie del suelo) y percolación profunda (agua que se profundiza y se pierde).

1.3. RIEGO LOCALIZADO

Osorio (1996) manifiesta el riego localizado es restituir el agua al suelo de gota a gota, lo que mantiene la humedad relativamente constante; además, la continua aplicación de agua en pequeñas cantidades establece condiciones óptimas para ser extraída por las plantas.

Los métodos de riego localizado permiten suministrar agua y fertilizantes químicos, con lo que se controla, el patrón de distribución del agua en el suelo, que permite generar una zona radical con características físicas, químicas y biológicas que conducen a mayores rendimientos de los cultivos.

1.4. RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL (RGS)

El sistema de riego por RGS se define como la entrega de agua de gota a gota desde una manguera polietileno ubicada bajo la superficie del suelo a través de unos emisores incorporados a la manguera (Rodas & Cisneros, 2000; INIFAP, 2007).

Mediante el sistema de riego por RGS se ha generado mayor aceptación, gracias a la superación de problemas de diseño y calidad, donde la penetración de raíces y obstrucciones ya no son un problema cuando la filtración, manejo y mantenimiento son adecuadamente. Además, este sistema de riego promueve un incremento en la eficiencia de aplicación de agua y nutrientes (Pizarro, 1996).

Los sistemas de riego por RGS son diseñados para aplicar agua de bajo de la superficie en pequeñas cantidades con la finalidad de mantener la humedad del suelo en un nivel óptimo para el crecimiento de la planta y desarrollo de la raíz para su mejor rendimiento. Por lo tanto, es importante que el RGS sea programado usando dispositivos como equipo de medición de humedad del suelo (tensiómetro) o de la evapotranspiración del cultivo (INIFAP, 2007).

Mediante el sistema de riego por RGS, instaladas a profundidades reducen la evaporación desde suelo y también permiten una mayor facilidad para realizar prácticas de cultivo.

Sin embargo, las instalaciones más profundas pueden limitar la efectividad del sistema de riego subsuperficial en la germinación de semillas, restringiendo la disponibilidad de agua y nutrientes hacia la superficie (Jorgensen, 1993).

Para sistema de riego por RGS las profundidades típicas de instalación son 30 y 60 cm., pero la profundidad óptima de instalación es desconocida, y con la experiencia se logrará la profundidad adecuada para cada cultivo. Lo más probable, es que va a depender del tipo de cultivo. (Tornería, 2014).

1.4.1 Ventajas y desventajas del riego por goteo subterráneo

Evet et al. (1995) & Marhuenda (1999)., informan las ventajas y desventajas de un sistema de riego por RGS, las cuales se señalan a continuación:

Ventajas

- Ahorro de agua, evita la pérdida de agua por evaporación.
- Evita escorrentía y se consigue mayor uniformidad de riego.
- Facilita las labores agronómicas durante el riego, reducir la incidencia de plagas, malezas y enfermedades e incrementar los rendimientos y la productividad del agua.
- Mejora la nutrición de la planta. Se administra el agua y los nutrientes directamente al sistema radicular.

Desventajas

- No permite la inspección visual.
- Posible penetración de raíces en los goteros que producen obturaciones.
- Dificulta la evaluación de coeficiente de uniformidad
- Dificultades para realizar reparaciones en las mangueras enterradas.
- Dificulta la germinación, si el sistema está enterrado a profundidades que no permitan el humedecimiento de la parte superficial, es por eso se recomienda en estos casos usar plantas pregerminadas.

1.4.2 Componentes de un sistema de riego por goteo

Según Pizarro (1996) Los principales componentes del sistema de riego instalado son:

- Cabezal principal de control y sistema de filtración.
 - Tanque de fertilización.
 - Medidor de agua.
 - Válvula de aire o ventosa.
 - Válvulas de paso.
 - Accesorios varios.
- Arco de riego.
- Tubería principal.
- Tubería secundaria o múltiple.
- Tubería lateral (regante).
- Goteros.

1.4.3 Aspectos Hidráulicos de goteros de cinta de riego

El agua atraviesa el emisor pasando a través de uno o varios conductos. Las longitudes, configuraciones y secciones de estos, determinaran el comportamiento hidráulico del emisor.

Relación caudal- presión

El caudal que descarga un emisor está relacionado con la presión hidráulica existente a su entrada, por la siguiente ecuación.

$$q = K \cdot h^x \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

donde:

q = caudal del emisor (L.h⁻¹)

K = coeficiente de descarga (adimensional)

h = presión a la entrada del emisor (m.c.a)

x = exponente de descarga (adimensional)

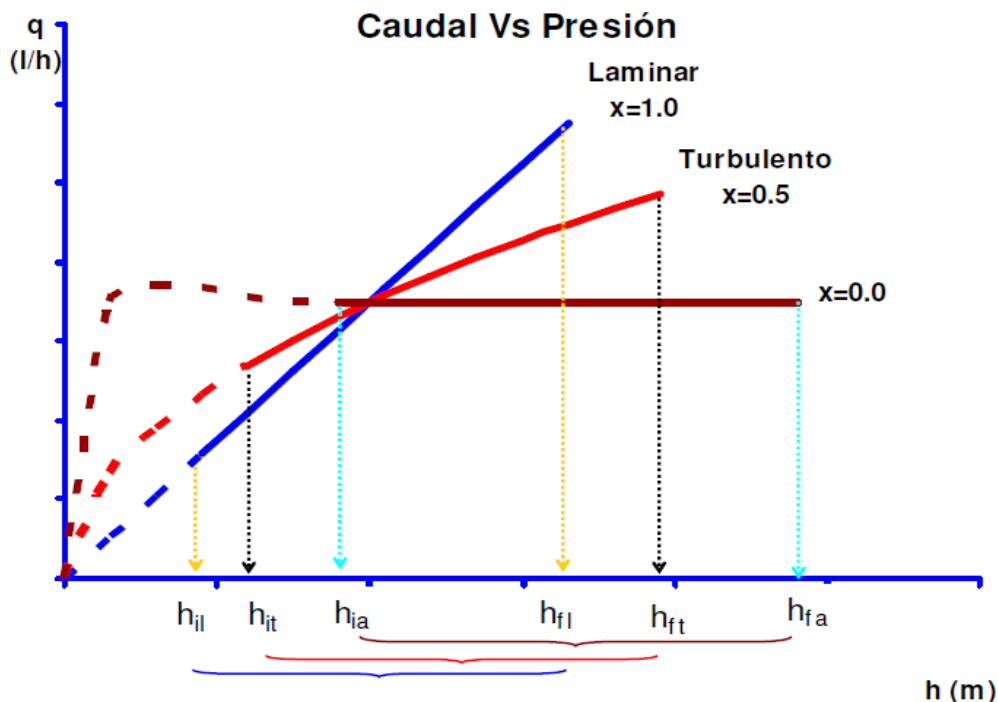


Figura 1.1. Curva Caudal vs Presión para goteros
Fuente: Pizarro (1996)

Número de Reynolds

Todos fluidos en circulación existen fuerzas de inercias (según la ley de Newton, masa x aceleración) una fuerza de rozamiento interno entre las partículas del fluido. Y en 1883 Osborne Reynolds comprobó que ese número permitía definir el Régimen hidráulico. (Pizarro F. 1996).

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \dots \dots \dots (Ec. 2)$$

donde:

- V = Velocidad en la tubería (m.s⁻¹)
- D = Diámetro de la tubería(mm)
- ν = Viscosidad dinámica, del líquido (agua)

Experimentalmente se ha comprobado

- R_e < 2,000 Régimen Laminar
- 2,000 < R_e < 4,000 Zona Crítica
- 4,000 < R_e - Régimen Turbulento
- 4,000 < R_e < 10⁵ Zona de transición

A medida que el número de Reynolds crece, el régimen se hace turbulento y f se ve afectado cada vez menos por Re y cada vez más por la rugosidad de la tubería, es conviene en señalar el valor $Re = 2000$ como crítico” ... “Se considerará, que el flujo es laminar si $Re < 2,000$ y turbulento si $Re > 2,000$. Este Re está referido al diámetro” (Pizarro F. 1996).

Ecuación de Darcy-Weisbach

Según Saldarriaga, (2007), muchos investigadores han tratado de determinar las leyes que rigen el flujo o circulación de los fluidos en las tuberías.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots(\text{Ec. 3})$$

donde:

f = Factor de fricción.

L = Longitud del tramo.

Cálculo del factor f :

Flujo laminar. $f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(\text{Ec. 4})$

Flujo Turbulento. $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots(\text{Ec. 5})$

donde:

k_s = Rugosidad absoluta de la tubería. Para Tubería PVC = 0.0015 mm

Para Tubería PE Baja densidad = 0.0015 mm

$\frac{k_s}{D}$ = Rugosidad relativa de la tubería.

La ecuación se resuelve iterando, desde un valor f_1 (inicial) hasta converger en $f_i \cong f_{i+1}$

+1

La ecuación de Swamee-Jain, (1976) desarrollada por los investigadores Prabhata K. Swamee y Akalank K. Jain. Se suele usar como comparación ya que arroja errores de hasta 10% para los rangos de $5 \times 10^{-3} \leq Re \leq 10^8$ y $10^{-6} \leq (e/D) \leq 10^{-2}$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \dots \dots \dots (Ec.6)$$

Tolerancia de Presiones en la Sub. Unidad de Riego

La diferencia máxima de presiones permitida compatible con el CU elegido, será proporcional a la diferencia entre la presión media que produce el caudal medio y la presión mínima de la Sub. Unidad. (Pizarro F. 1996).

$$\Delta H_{Sub\ Unidad} = M \times (h_a - h_{ns}) \dots (Ec. 7)$$

donde:

$$h_a = \text{Presión de trabajo de gotero } h_a = \left(\frac{q_a}{k} \right)^{\frac{1}{x}} \dots \dots \dots (Ec. 8)$$

$$h_{ns} = \text{Presión mínima del gotero } h_{ns} = \left(\frac{q_{ns}}{k} \right)^{\frac{1}{x}} \dots \dots \dots (Ec. 9)$$

M = Valor que depende de las condiciones topográficas y el número de diámetros de la tubería, ya sea terciaria o lateral. Keller recomienda los siguientes valores.

Tabla 1.1. Valores del factor M

		M
Díámetro constante	4.3
2 diámetros	2.7
3 diámetros	2

Fuente: Pizarro (1996)

El cálculo hidráulico consiste en repartir este valor entre la tubería terciaria y la manguera de riego, procurando que no alcance la presión máxima.

$$h_{máx.} = \Delta H_{Sub\ Unidad} + h_a \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

Variación de presión permisible en la subunidad de riego

El diseño de la subunidad de riego incluye la distribución en planta de terciarias y laterales, la determinación de los caudales de estas tuberías y el cálculo de los

diámetros y régimen de presiones. El cálculo se inicia a partir de la presión h . del gotero medio, y en él se determinan h_m , h_n , H_m y H_n , cuyos valores han de cumplir lo establecido sobre tolerancia de presiones:

$$\Delta H_l = \Delta H_t = 0.5 \Delta H_{Sub\ unid.} \dots\dots\dots (Ec. 11) \quad \text{para } i = 0$$

$$\Delta H_l, \Delta H_t = 0.65, 0.35 \Delta H_{Sub\ unid.} \dots\dots\dots (Ec. 12) \quad \text{para } i > 0$$

$$\Delta H_l, \Delta H_t = 0.35, 0.65 \Delta H_{Sub\ unid.} \dots\dots\dots (Ec. 13) \quad \text{para } i < 0$$

$$\Delta H_l - 0.35 * \Delta H_{Sub\ unid.} \dots\dots\dots (Ec. 14)$$

$$\Delta H_t - 0.65 * \Delta H_{Sub\ unid.} \dots\dots\dots (Ec. 15)$$

$$H_m - H_n < \Delta H_t \dots\dots\dots (Ec. 16)$$

$$h_m - h_u < \Delta H_l \dots\dots\dots (Ec. 17)$$

donde:

H_m = Presión de entrada en la subunidad.

H_n = Presión de mínimo de la subunidad.

h_m = Presión de entrada en lateral.

h_u = Presión mínima en lateral.

ΔH_l = Variación de presiones permitida en lateral.

ΔH_t = Variación de presiones permitida en terciaria.

Lateral alimentado por un extremo

Según Pizarro F. (1996) se pueden presentar los tres casos siguientes:

Caso 1: terreno horizontal ($i = 0$)

Caso 2: terreno subiendo ($i > 0$)

Caso 3: terreno bajando ($i < 0$)

Subcaso 3.1. $i < 0$ $lil < J'$

Subcaso 3.2. $i < 0$ $lil \geq J'$

En este caso trabajaremos con el Caso 3. Terreno bajando ($i < 0$), donde el terreno va bajando hay que distinguir dos subcasos. En el primero de ellos $l_{il} < J'$, es decir, la pendiente no compensa totalmente la pérdida de presión que se produce por rozamiento en el lateral y el punto de menor presión se encuentra en una posición intermedia.

En el subcaso segundo, $l_{il} \geq J'$, la pendiente es mayor que la pérdida de carga unitaria con lo que la presión va aumentando a lo largo del lateral, alcanzando su máximo al final. El punto de menor presión es el origen del lateral.

a. Pérdida de carga unitaria

$$J = 6.37 \cdot d^{-2} \cdot q^5 \dots \dots \dots \text{(Ec. 18)}$$

donde:

J = pérdida de carga unitaria

d = diámetro interno de la tubería

q = cauda de la tubería

b. Pérdida de carga por efecto de conexión

Tipo de conexión: Interlinea $f_e = 0.23$ (f_e es la longitud equivalente de la conexión del emisor).

$$J' = J \cdot \frac{S_e + f_e}{S_e} \dots \dots \dots \text{(Ec. 19)}$$

donde:

J' = pérdida de carga por efecto de conexión

S_e = separación entre emisores

f_e = longitud equivalente e la conexión de un emisor

c. Coeficiente de Chistiansen

$$F = \frac{1}{1-\beta} + \frac{1}{2 \cdot n} + \frac{(\beta-1)^{0.5}}{6 \cdot n^2} \dots \dots \dots \text{(Ec. 20)}$$

donde:

$$\beta = 1.75 \text{ (RLAF) para } (l_0 = Se)$$

n= Numero de emisores por ramal

d. Pérdida de carga (m)

$$hf = J' * F * l..... \text{ (Ec. 21)}$$

e. Desnivel del terreno (m)

$$d = i * l..... \text{ (Ec. 22)}$$

donde:

i: pendiente del terreno

l: Longitud máxima del ramal

f. presión inicial y final del lateral (m)

En este caso (Figura 3), para $l \geq J'$ demuestra que el punto de menor presión es el original.

$$h_m = h_n = h_a + 0.733h_f + \frac{d}{2}..... \text{ (Ec. 23)}$$

$$h_u = h_m - h_f - d..... \text{ (Ec. 24)}$$

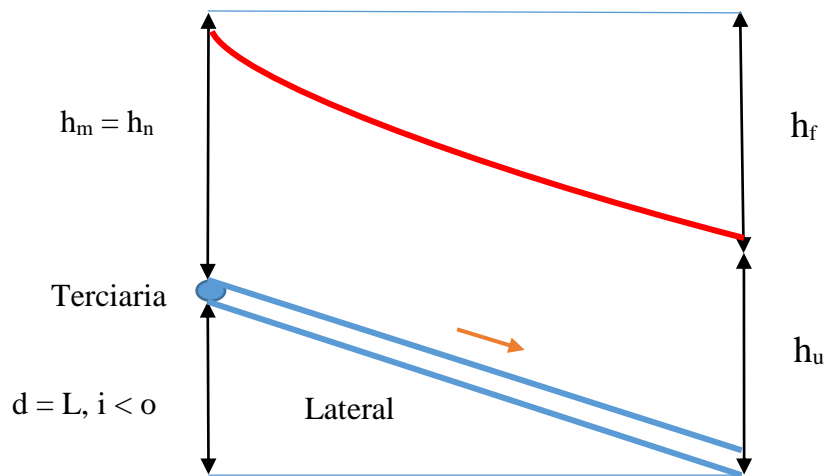


Figura 1.2. Laterales alimentados por un extremo (Sub caso 3.2)

Fuente: Pizarro (1996)

1.5. FLUJO DEL AGUA EN EL SUELO

El movimiento del agua en suelos no saturados es el problema de más importante en sistema de riego, en cualquiera de sus variantes (gravedad, aspersión o riego localizado). Por tanto, el conocimiento cuantitativo de ese flujo es del mayor interés.

(Israelsen, 1979), manifiesta, que para cuantificar la cantidad de agua que debe de incorporar a disposición de la planta, es preciso estudiar sus necesidades y la característica agro-climatológica del medio en que vive, ya que ejercen una influencia decisiva sobre los requerimientos.

Medina (1997), menciona que el movimiento del agua en el suelo se realiza de las regiones de potencial más alto a las de potencial más bajo y que al contrario de los otros sistemas en que el movimiento es fundamentalmente vertical, en el goteo es tridimensional.

1.5.1 Propiedades físicas del suelo

Textura del suelo

La textura del suelo es la composición granulométrica del suelo. Una determinada textura indica una composición cuantitativa de partículas menores a 2 mm (arena, limo y arcilla).

Los suelos son el resultado de una mezcla de sus fracciones. Las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla. Se han fijado doce clases texturales básicas que se observan gráficamente en el triángulo textural, el cual se muestra en la Figura 1.3. Pizarro. (1996).

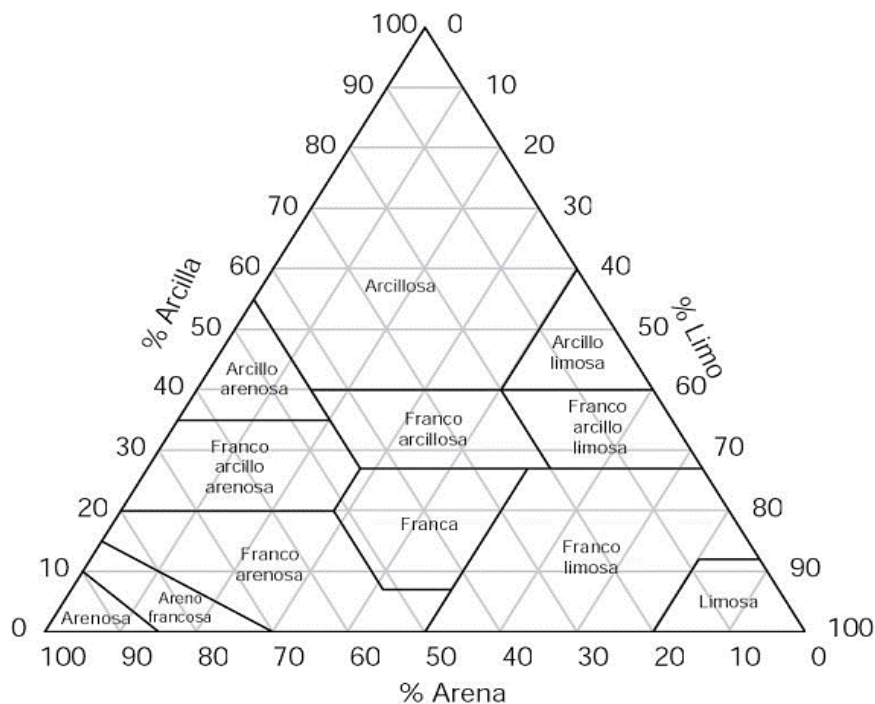


Figura 1.3. Triángulo de clasificación textural

Fuente: Pizarro (1996)

Estructura del suelo

Pizarro (1996). Indica que la estructura se define como la manera en la cual las partículas del suelo se reúnen forma de agregados. Un agregado natural e individual se llama "ped". La clasificación estructural del suelo, se basa principalmente:

- En la forma y arreglo que es la expresión
- En el tamaño que indicación de la clase
- La distinguibilidad y durabilidad de los agregados visibles o peds

1.5.2 Bulbo húmedo o volumen de suelo húmedo

Pizarro (1996), manifiestan que el bulbo húmedo es la parte del suelo humedecida por un emisor de riego localizado.

A medida que aumenta el charco en el punto del emisor, el agua se distribuye por los poros adyacentes, cuya humedad es menor. El potencial de esta zona adyacente no saturada está compuesto por el potencial gravimétrico (Ψ_g) y el mátrico (Ψ_m). La acción combinada de las fuerzas mátricas y gravimétricas origina la forma característica del bulbo húmedo. (Pizarro,1996).

Los emisores aplican el agua sobre el suelo, donde se forma un pequeño charco a medida que avanza el tiempo de riego, con una dinámica de movimiento tridimensional (en profundidad, a lo largo y a lo ancho). Así se va formando un "bulbo de humedecimiento" característico para cada tipo de suelo.

1.5.3 Formación del bulbo húmedo

Pizarro (1996) manifiesta de que los emisores de riego localizado dejan fluir gota a gota el agua sobre la superficie puntual del suelo, formando un pequeño charco de suelo saturado y su radio va extendiéndose a medida que el riego continúa y según el tipo de suelo.

El trabajo de Roth (1983) menciona la existencia de una alta correlación entre el volumen de agua total aplicado y el volumen de suelo húmedo. Este aspecto fue analizado mediante un estudio de regresión del VSH obtenido según el agua total aportada por los diferentes caudales de todos los irrigadores utilizados. (*Gispert,2008*).

1.5.4 Forma y dimensionamiento del bulbo húmedo

Pizarro (1996), manifiesta que la acción combinada de la fuerza mátricas y gravimétricas originan la forma característica del bulbo húmedo y que los factores que afectan su forma son:

Tipo de suelo. En los suelos pesados la velocidad de infiltración es menor que en los ligeros. Esta es una primera razón para que el bulbo se extienda horizontalmente.

En suelos francos se puede decir que las fuerzas mátricas y gravimétricas conservan cierto equilibrio. En caso de los suelos arenosos, debido a los grandes poros, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, concluyendo que las fuerzas gravimétricas predominan sobre las mátricas. En un suelo arcilloso, la predominancia de microporos hace que las fuerzas mátricas dominen sobre las gravimétricas. (Pizarro 1996).

Estratificación. En el campo lo normal es que se encuentren estratos de distinta porosidad, lo que afecta al flujo y a la retención del agua, y en consecuencia al bulbo húmedo. Los obstáculos, la compactación, impermeables como la presencia de piedras y materiales poco permeables hacen que el bulbo se extienda lateralmente.

Caudal del emisor. El tamaño del charco depende del caudal que sale por el emisor: a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco y por tanto, un bulbo más extendido en sentido horizontal.

Vázquez y Gueorguiev (1988), menciona que, para un mismo suelo, la forma y las dimensiones del bulbo humado desde un emisor dependen del caudal del emisor y del volumen de agua aplicado.

Tiempo de riego. A medida que aumenta el tiempo de riego (suponiendo un caudal constante en el emisor) el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero apenas aumenta su extensión en sentido horizontal.

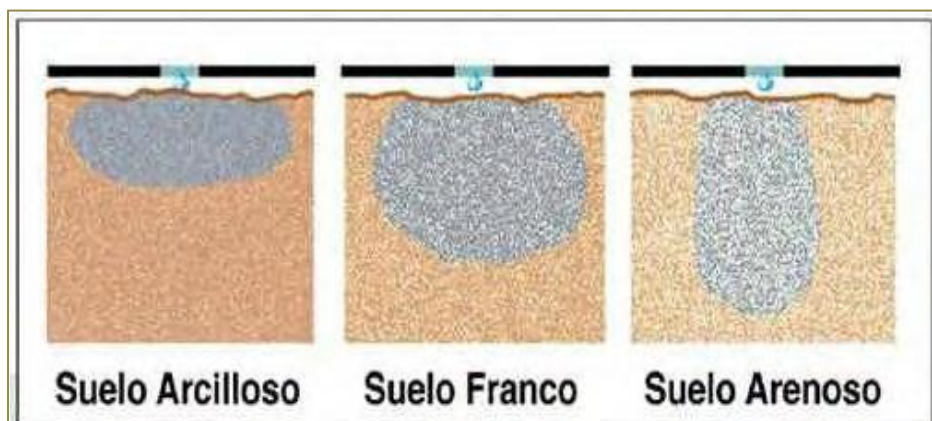


Figura 1.4. Forma del bulbo húmedo en suelos de diferente textura.

Fuente: Pizarro (1996).

1.6. PROGRAMACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO

Para la programación del riego localizado consiste en determinar y analizar el porcentaje del suelo mojado o prueba de campo, la lámina de riego, la evapotranspiración del cultivo, el coeficiente de uniformidad del sistema de riego, el intervalo y el tiempo de riego (Martínez, 1996).

1.6.1. Evapotranspiración de referencia (Eto) con el tanque clase “A”

La Tanque de Evaporación Clase “A” estándar es un dispositivo que sirve para medir la cantidad de agua que se evapora hacia la atmósfera por efecto de la radiación solar, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, expresada en milímetros por día. (FAO 56, 2006)

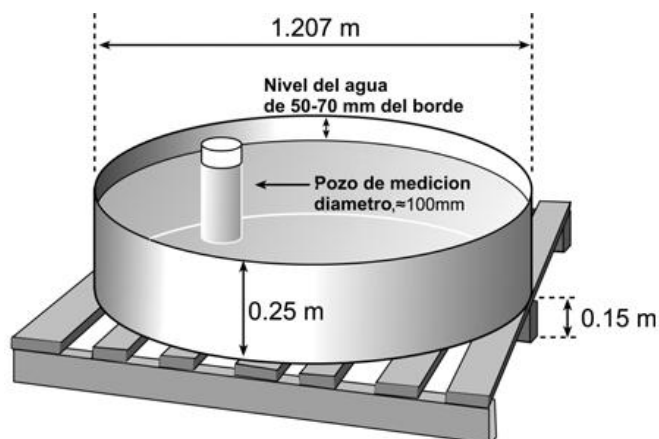


Figura 1.5. Tanque evaporímetro tipo A.

Fuente: Aguilera y Martínez, (1996).

Doorenbos y Pruitt (1977) propone un método para la estimación de la ETo a partir de los datos medidos de Evaporación de una lámina libre de agua en el tanque tipo A la ecuación correspondiente, toma la forma siguiente:

$$E_{T_o} = K_p (E_o) \dots \dots \dots \text{(Ec. 25)}$$

donde:

- E_{T_o} Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- E_o Evaporación del tanque tipo A (mm/día)
- K_p Coeficiente del tanque (adim)

El coeficiente del tanque depende del tipo y del tamaño y estado de la zona tampón, los coeficientes del tanque evaporímetro tendrán valores diferentes. Cuanto más grande es la zona tampón, más rápidamente el aire que se mueve sobre el tanque estará en equilibrio con ella. En equilibrio y con un área tampón grande, el aire contiene más vapor de agua y menos calor en el caso A que en el caso B. Allen, (1998)

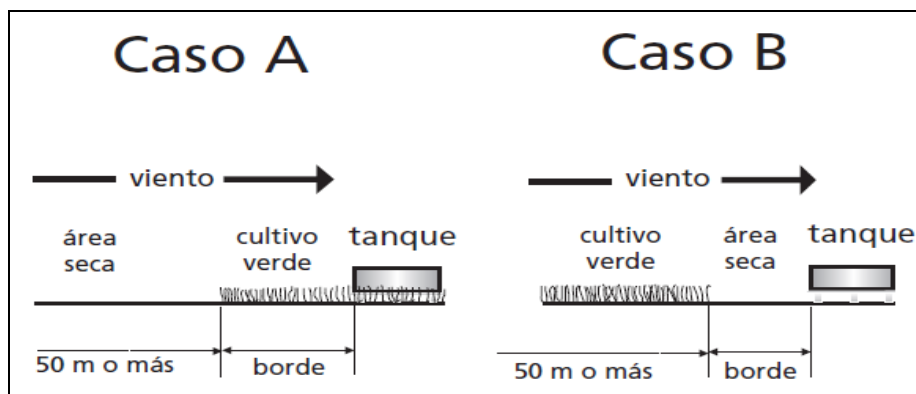


Figura 1.6. Casos de localización del tanque de evaporación.

Fuente: Allen, (1998).

Tabla 1.2. Coeficientes del tanque evaporímetro (K_p) Clase A para diversas localizaciones

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada			Caso B: Tanque situado a un suelo desnudo				
	baja	media	alta	baja	media	alta		
HR media	<40	40-70	>70	<40	40-70	>70		
velocidad del viento (m s ⁻¹)	Distancia del cultivo a barlovento (m)			Distancia del cultivo a barlovento (m)				
Baja	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
<2	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.6	0.7
Moderada	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
Alta	1000	0.7	0.8	0.8	1000	0.45	0.55	0.6
	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.5	0.55	0.65
Muy alta	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
	1	0.4	0.45	0.5	1	0.5	0.6	0.65
>8	10	0.45	0.55	0.6	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65	1000	0.35	0.4	0.45

Fuente: Allen, (1998)

1.6.2. Coeficiente único del cultivo (K_c)

“Es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia; se determina experimentalmente y no es constante durante las fases del desarrollo del cultivo.

1.6.3. Evapotranspiración real, actual o efectiva (ET_c)

Para la estimación de la ET_c a partir de los valores de la ET_o , se utilizó la metodología del coeficiente del cultivo, presentada por la FAO-56 (Allen *et al*, 1998).

Esta metodología se basa en la siguiente Ecuación.

$$ET_c = K_c \times ET_o \dots\dots\dots (Ec. 26)$$

donde:

K_c = Coeficiente único de cultivo

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm. día⁻¹)

Efecto de localización

El efecto de localización se basa en la fracción del área sombreada por el cultivo, la cual se puede estimar conociendo el ancho de sombra generado por la planta. Para estimar K_l se puede utilizar la ecuación propuesta por (Pizarro, 1990).

Las fórmulas de cada autor son las siguientes:

$$\text{Aljibury et al. } K_l = 1, 34 \cdot A \dots\dots\dots (Ec. 27)$$

$$\text{Decroix } K_l = 0, 1 + A \dots\dots\dots (Ec. 28)$$

$$\text{Hoare et al. } K_l = A + 0, 5 \cdot (1 - A) \dots\dots\dots (Ec. 29)$$

$$\text{Keller } K_l = A + 0, 15 \cdot (1 - A) \dots\dots\dots (Ec. 30)$$

donde:

A = Área Sombreada (%).

Corrección por condición de locales

a. Variación climática (K_{cl})

El ET_c , es necesario aumentar este valor multiplicándolo por un coeficiente, de no ser así las necesidades calculadas representarían un valor medio. (Pizarro, 1996), que establece que se debe tomar un coeficiente entre 1,15 – 1,20.

b. Variación por advección (K_{ad})

Este coeficiente depende del tamaño de la zona de riego, para estimar su valor se utilizó una curva publicada por la (FAO, 2006), figura 1.8, que relaciona el número de hectáreas regadas con factor de corrección por advección.

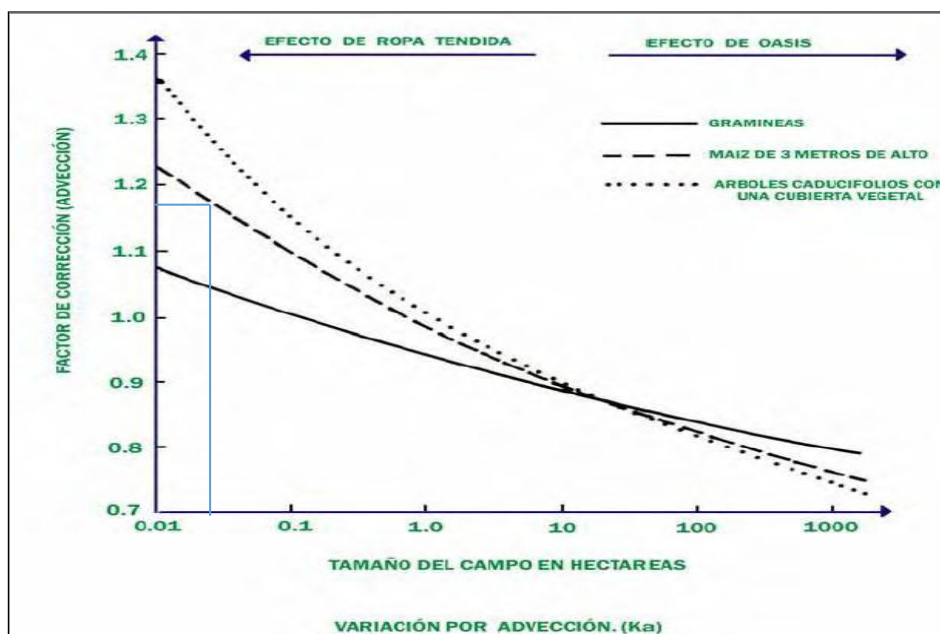


Figura 1.7. Curva de variación por advección.

Fuente: FAO (2006).

1.6.4. Necesidades netas

La estimación de las necesidades netas de agua en riego localizado tiene mayor importancia que en otros sistemas de riego, ya que es muy limitado el papel del suelo como almacén o reserva de agua.

Cuando el agua se aplica en toda la superficie a regar, las necesidades netas vienen dadas por la ecuación, citado por (Pizarro, 1996).

$$N_n = ET_o \cdot K_c \cdot K_l \cdot K_{cl} \cdot K_{ad} - P_e - G_w - \Delta w \dots\dots\dots (Ec. 31)$$

donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c : coeficiente de cultivo.

K_l : coeficiente de corrección por efecto de la localización.

K_{cl} : corrección por variaciones climáticas locales.

K_{ad} : corrección por advección.

P_e : precipitación efectiva.

G_w : aporte capilar.

Δw : variación de almacenamiento de agua del suelo

1.6.5. Necesidades totales

Las dosis de riego calculadas a partir de ET_o y ET_c son dosis netas, por lo que hay que tener en cuenta la falta de uniformidad del sistema de riego y las necesidades de lavado para el cálculo de la dosis de riego. (Pizarro, 1996).

Para conocer las necesidades totales del cultivo deben tenerse en cuenta los coeficientes.

- Pérdidas por percolación (P_p).

$$P_p = 1 - E_a \dots\dots\dots (Ec. 32)$$

donde:

P_p = pérdidas por precolación (mm)

E_a = eficiencia de aplicación.

- Necesidades de lavado (LR).
- Falta de uniformidad del riego (CU).

Para calcular las necesidades totales de cada cultivo, utilizando la fórmula:

$$N_t = \frac{N_n}{CU \cdot (1 - k)} \dots\dots\dots (Ec. 33)$$

1º) Superficie mojada por el emisor: (A_{me})

$$A_{me} = \pi * Rm^2 \dots\dots\dots(\text{Ec. 35})$$

donde:

R_m : Radio mojado.

2º) Separación máxima entre emisores: (S_{máx})

$$S_{máx} = Rm(2 - \frac{a}{100}) \dots\dots\dots(\text{Ec. 36})$$

donde:

“a” el porcentaje de solape.

3º) Número de emisores/m² (e)

$$e = \frac{1}{Sl * Se} (\text{emisores.m}^{-2}) \dots\dots\dots(\text{Ec. 32})$$

1.6.7. Porcentaje de superficie mojada: (P)

En 1978, Keller y Merriam estandarizan que el área mojada se mide a 30 cm de profundidad y posteriormente H. Abreu sugiere que esa medida se haga a la profundidad en que la densidad radicular sea máxima. (Pizarro, 1996).

Para el parámetro "porcentaje de superficie mojada" (P) se recomienda como valores mínimos para árboles con clima húmedo P = 20 %. En cambio, en el caso de cultivos herbáceos el valor de P debe ser mayor, llegando incluso al 70 %.

La elección de P es bastante importante, puesto que valores elevados aumentan la seguridad del sistema, pero, lógicamente aumenta también el costo de instalación.

Recálculo de A_{me} considerando los solapes:

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{1}{(1 - \frac{a}{200})^2} - 1} \dots\dots\dots(\text{Ec. 38})$$

$$A_{me} = (\pi - 2 * (1 - \frac{a}{200}) \text{sen} \alpha) * Rm^2 \dots (\text{Ec. 39})$$

Calculo de suelo mojado: (P)

$$P = \frac{100 * e * Ame}{Sp} (\%) \dots \dots \dots (Ec. 40)$$

donde:

P : Porcentaje de superficie mojada.

Sp: superficie ocupada por planta (m²), Sp = 1

e : Numero de emisores por planta.

Ame: Área mojada por un emisor.

1.6.8. Tiempo de riego: (Tr)

$$Tr = \frac{Nt * I}{e * Qe} (\text{horas}) \dots \dots \dots (Ec. 41)$$

donde:

Nt = Necesidad total (mm).

Qe = Caudal del emisor (L.h⁻¹).

e = Separación entre emisores (m).

I = Intervalo de riego

1.7. CULTIVO DE LA ARVEJA**1.6.1 Origen**

La arveja se cultiva en clima templado y frío. Se adapta mejor a los climas frescos con buena humedad y luminosidad. El rango óptimo de temperatura para un buen crecimiento y productividad de la planta oscila entre los 15 y 18°C. Aunque el cultivo en crecimiento es tolerante a temperaturas inferiores de 7° C, resistiendo heladas de baja intensidad. (Puga, 1992).

1.6.2 Consumo de agua del cultivo de arveja

Puga (1992) menciona que el cultivo de arveja requiere entre 300 y 400 mm de agua. Además, asegura que es muy sensible a la sequía sobre todo durante el periodo de desarrollo vegetativo y floración, para este periodo es necesario asegurarse de la disponibilidad de agua, en caso de que exista déficit de esta.

León (2002) menciona, para condiciones propias de clima y suelo (Canaán bajo – INIA Ayacucho), el cultivo de arveja requiere una lámina de 335mm. campaña⁻¹, para obtener un rendimiento de 13 t. ha⁻¹ de arveja en verde y 2.93 t. ha⁻¹ en grano seco, bajo un sistema de riego por goteo.

1.6.3 Profundidad del suelo explorado por las raíces

Fuentes (1998), expresa que la planta posee un sistema vegetativo poco desarrollado, aunque con una raíz pivotante que tiende una Profundidad efectiva (0.60 - 0.90). En cualquier caso, si existe una capa dura o impermeable en el perfil del suelo, la profundidad radical efectiva vendrá limitada por la profundidad a que se encuentra dicha capa. (Fuentes, 1998).

Fuentes (1998), indica que la profundidad radicular está determinada por una serie de factores, tales como características genéticas, características del suelo (textura, estructura, capas impermeables, etc.).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN DEL ENSAYO

2.1.1 Ubicación política

El presente trabajo experimental se desarrolló en la comunidad de Villa Santa Rosa de Chullumpampa del distrito de San José de Ticllas, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho.

2.1.2 Ubicación geográfica

se ubica en la parte Sierra- Zona Sur – Central, de los Andes del Perú, al Nor este de la región Ayacucho, en la parte Nor Este de la cuenca del rio Cachi, entre los paralelos $13^{\circ} 9' 42.69''$ Latitud Sur y los meridianos $74^{\circ} 22' 30.85''$ Longitud Oeste, la altitud 3426 msnm. Así mismo se detalla la ubicación en la figura 2.2 de la página 30.

2.1.3 Aspectos climáticos de la zona

Son parámetros muy importantes que considerar, debido a que inciden directamente en las actividades agrícolas por la gran influencia sobre el ciclo productivo de las plantas en un área determinada y, por ende, en la planificación del riego.

Las variables meteorológicas, como la humedad relativa del aire, la velocidad de viento, la temperatura máxima y mínima del aire, fueron tomados de la estación meteorológica Quinoa ($74^{\circ}8'$ Latitud Sur, $13^{\circ} 02'$ Longitud Oeste y 3,425 m.s.n.m. de altitud), que se utilizaron para calcular la evapotranspiración de referencia diaria (ET_0) por el método Penman-Monteith.

La temperatura media mensual osciló alrededor de 18.7 °C, la humedad relativa promedio mensual del aire varió de 74 a 84 por ciento, la evapotranspiración de referencia diaria osciló de 3.21 a 5.01 mm.día⁻¹, la precipitación media anual fue de 64.94mm y corresponde al periodo 2010-2013 considerando precipitaciones medias mensuales mayores de 75mm y un máximo en enero con 159.23mm. El variable climatológica se muestran en la figura 2.1.

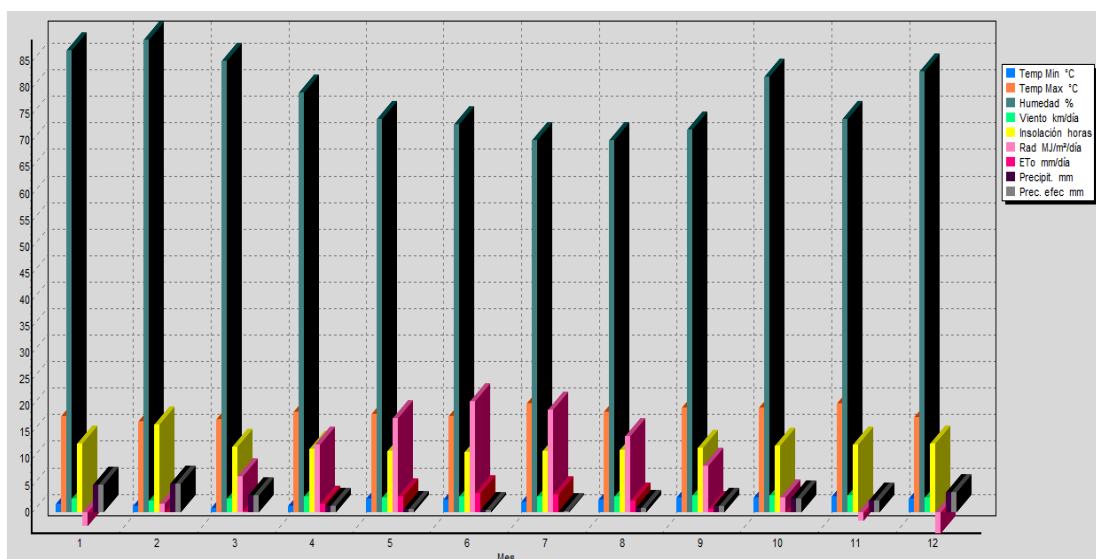


Figura 2.1. Variables climatológicas de estación meteorológica de Quinua.

Fuente: Elaboracion propia.

2.1.4 Fuente de Agua

La principal fuente de agua es de ladera, proveniente de Lambras Huayco con un caudal de 0.20 l/s.

2.1.5 Uso Actual

Actualmente la parcela de la comunidad de Villa Santa Rosa de Chullumpampa, se encuentra sin descanso luego de estar ocupado con cultivo de maíz.

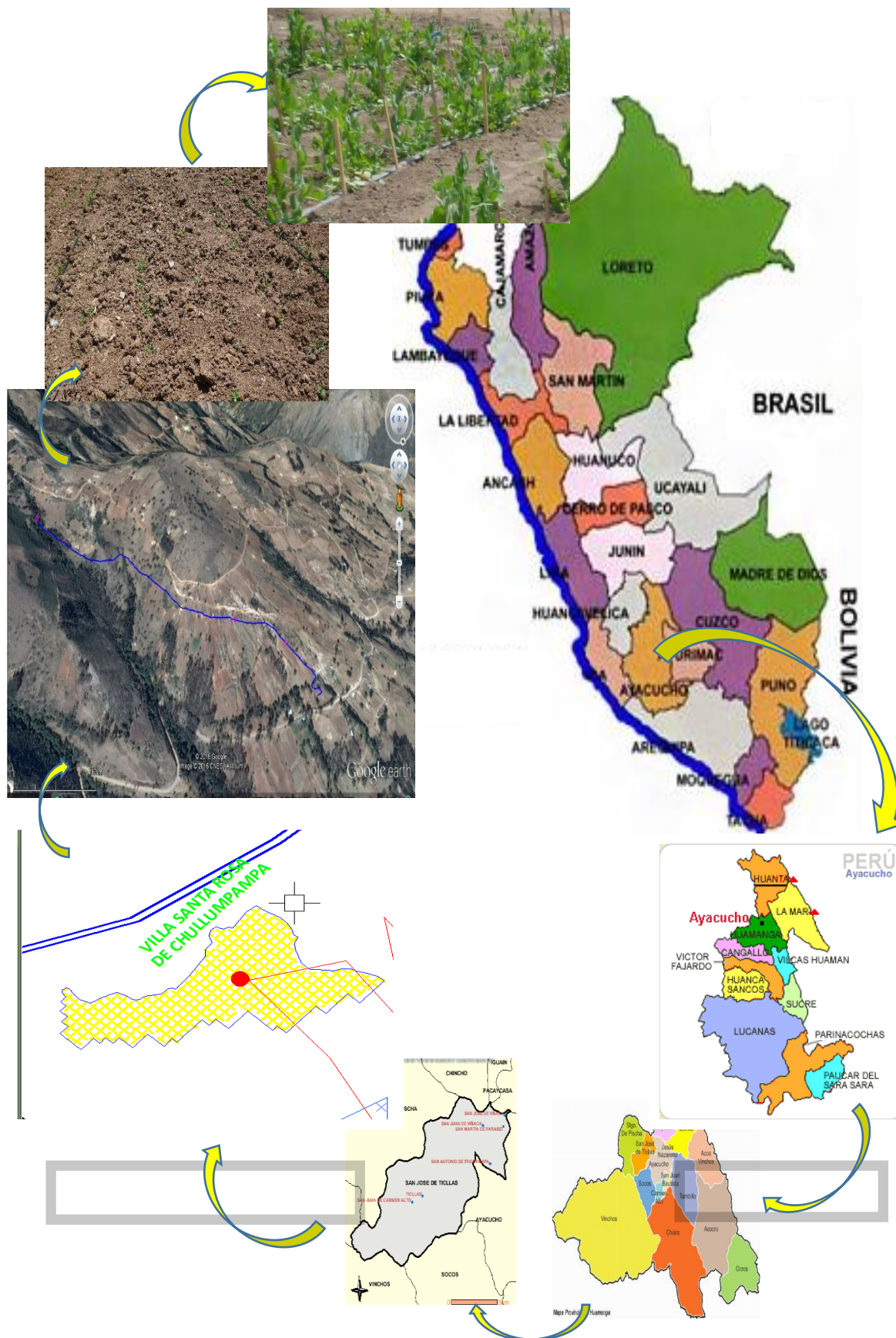


Figura 2. 1 Ubicación general del área de experimentación.

Fuente: Elaboración propia

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

2.2.1 Materiales

- Pala, rastrillo, azadón y flexómetro de 5m
- Estacas madera
- Libreta de campo
- Pulverizador manual de mochila de 18lts.
- Mangueras polietileno de 16mm espesor de 1.0mm. con goteros incorporados autocompensados con caudal de 1.6 l.h^{-1} .
- Mangueras polietileno de 1pulg.
- Tubo de PVC clase 10 de Ø 1pulg.
- Hilos para tutorado
- Probeta de 20mm.

2.2.2 Equipos

- 04 válvulas control tipo bola
- 01 filtros filtro de malla de 120 mesh
- 02 filtro de anillo
- 03 manómetros de glicerina
- Cámara fotográfica digital
- Laptop de windon 7
- Balanza electrónica de 5kg.

2.2.3 Insumos

- Agua de riego.
- Semillas: Arveja
- Fertilizantes: urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.
- Insecticidas, fungicidas y herbicidas

2.2.4 Softwares

- Autocad 2016
- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010- XLSTAT

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Fase preliminar

En esta fase se realizó las actividades previas a la recolección de informaciones.

a. Análisis físico, químico y coeficientes hídricas del suelo

Las determinaciones de las características físicas, químicas y coeficientes hídricas del suelo, tales como: textura, densidad aparente, pH y conductividad eléctrica fueron realizadas en el Laboratorio de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga de Análisis de Suelo, planta, Agua y Fertilizante para su análisis.

Tabla 2.1. Resultados del análisis físico del suelo

Componentes	Contenido	Interpretación
Análisis físico		
Arena (%)	45.4	---
Limo (%)	15.8	---
Arcilla (%)	38.7	---
Clase textural	Ar-Ao	
Capacidad de Campo (%)	31.6	
Punto de Marchitez (%)	17.2	
Densidad aparente(g/cc)	1.28	
Análisis químico		
pH	6.04	Acido
Nitrógeno total	0.09%	Muy pobre
Fosforo disponible	10.7 ppm	Bajo
Potasio disponible	46.7 ppm	Bajo
Materia orgánica	1.90%	Bajo

Fuente: Laboratorio de suelos del PIPG, FCA-UNSCH. 2014.

En la tabla 2.1, se detalla los coeficientes hídricos del suelo donde la capacidad de campo es 31.6%, punto de marchites 17.2%, clase textural es Arcilla Arenoso y cuya densidad aparente es 1.28 g/cc.

La profundidad del suelo en estudio es de 40 – 44 centímetros.

b. Evaluación de la calidad de agua con fines de riego

Se tomó la una muestra de agua del manante llamado Lambras Huayco, posterior las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga de Análisis de Suelo, planta, Agua y Fertilizante para su análisis, la cual presenta las siguientes características:

Tabla 2.2. Resultados del análisis de calidad de agua

Parámetros de evaluación.	Muestra	Unidades	Interpretación / val. máximos
pH	7.54	U/pH	6-9
Carbonato de sodio residual: CSR=(CO ₃ +HCO ₃) – (Ca+Mg)	-0.01	meq /L	No hay Peligro de Na
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0.191	Ds/m	No hay Peligro de salinidad
Relación de Adsorción de Sodio	1.97		No hay Peligro de Na

Fuente: Laboratorio de suelos del PIPG, FCA-UNSCH. 2014.

De la tabla 2.2, se puede mencionar que el agua es apta para el riego por goteo según los resultados del laboratorio, donde conductividad eléctrica es 0.191dS/m, agua con una concentración bajo pelagra de salinidad, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y suelos; por lo que se puede utilizarse para el riego por goteo, el pH resultante tiene un valor de 7.54, lo que representa un valor casi neutro ventajoso para la agricultura y el RAS (Relación de absorción de sodio) llega a 1.97 (S₁), lo que representa un valor bajo, sin perjuicio para el cultivo de arveja propuesto.

c. Prueba de campo con fines de diseño y riego

Para determinar la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo, seguimos una sistemática basada en la elaborada por Hernández Abreu, citado por Pizarro, donde consistió en la aplicación del agua al suelo a través de un gotero ($q=1.6l.h^{-1}$) durante los intervalos de tiempos de 0.63hr, 1.25hr, 1.75hr. y 2hrs.

Para estimar el patrón de mojado en el campo, se instaló en grupos de cuatro donde cada grupo emita un distinto volumen de agua por cada emisor (V_e), variando el tiempo de riego. Una vez realizada la prueba, se procede con la excavación del terreno y el registro de datos donde se ha tenido en cuenta el desplazamiento vertical y horizontal del bulbo húmedo (Fig. 2.3), considerando los datos de profundidad en la ordenada (Y) y el desplazamiento horizontal (radio).

La profundidad de humedecimiento va a restringir el tiempo de riego y volumen de agua aplicado, ya que al humedecer por debajo de la zona radicular se traducen pérdidas de agua por percolación profunda.

Tabla 2.3. Datos obtenidos de prueba de campo

Prueba de campo $q = 1,6L \cdot h^{-1}$		
Volumen agua (L)	Prof. Mojada (m)	Radio Mojado (m)
1	0.11	0.09
2.0	0.21	0.13
2.8	0.38	0.18
3.2	0.44	0.2

Fuente: Laboratorio propia

En la Tabla 2.3 se muestra el resultado de la prueba de campo, donde los datos de radio y profundidad se registraron en un formato especialmente diseñado en hoja de cálculo del software Excel, que luego de ser procesado sirvieron para obtener los gráficos de la forma geométrica y dimensiones del bulbo húmedo.



Figura 2.3. Forma del bulbo húmedo a 2 horas de riego con un caudal de 1.6l/h.

Fuente: Elaboracion propia

2.3.2 Fase de gabinete

a. Diseño experimental

El estudio se realizó mediante Diseño de Bloques Completamente al Azar, con 4 tratamientos, y 4 repeticiones.

La superficie de parcela total fue de 396m^2 (13,2 mx 30m) y área neta fue de $267,5\text{ m}^2$ (25 x 10,7 m). Los espaciamientos entre goteros fueron de 40 cm, y entre hileras 60cm, como se muestra en la figura 2.4.

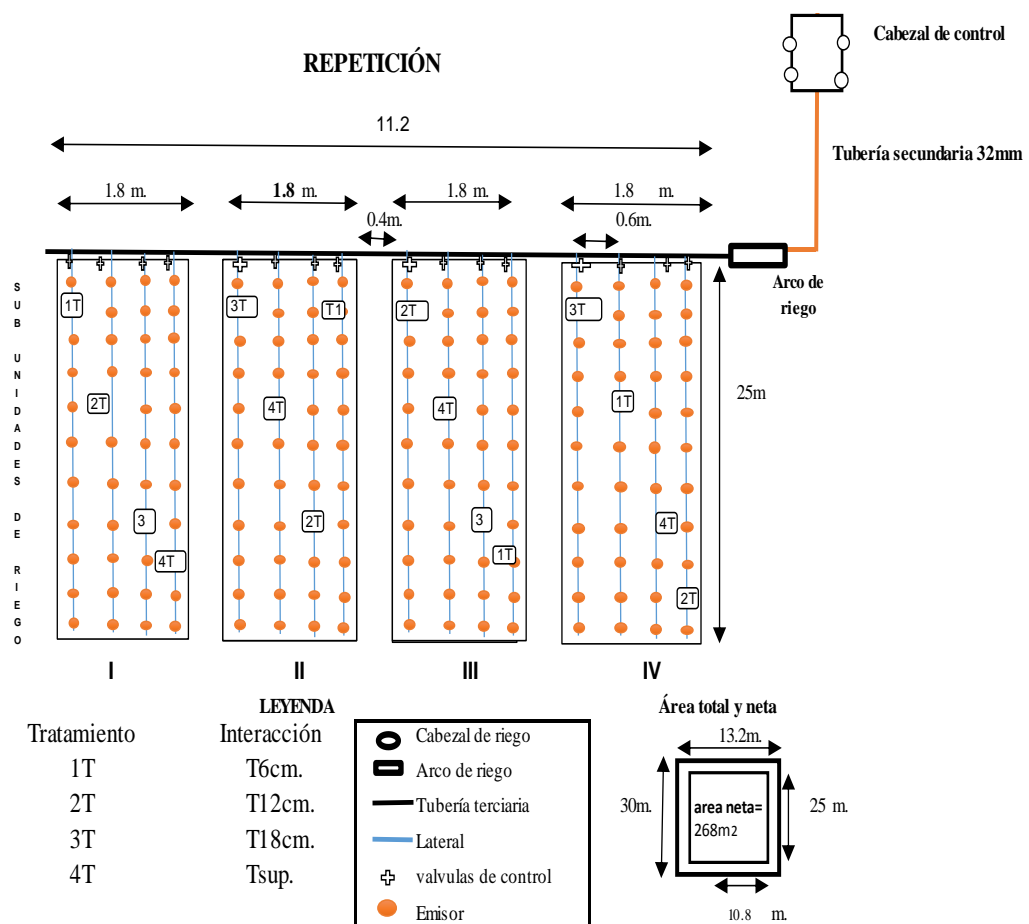


Figura 2.4. Bloques para la evaluación de los tratamientos del experimento.

Fuente: Elaboracion propia

b. Tratamientos

Para la ejecución de la investigación se utilizó mangueras con goteros incorporados auto compensados de 16 mm., con cuatro repeticiones donde se aplicaron una lámina de riego calculada a partir de los registros diarios de evaporación de un tanque evaporímetro tipo A instalado en la misma zona de investigación. El coeficiente del cultivo que se utilizó en las primeras semanas es 0.5, después se aumentó a 0.8, 1.15, y al final del ciclo aumentado a un valor de 1.1 (Allen et al., 1997).

Tabla 2.4. Descripción de los tratamientos de estudio

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
1T	1T(06cm)	4T(Sup.)	2T(12cm)	3T(18cm)
2T	2T(12cm)	3T(18cm)	4T(Sup.)	1T(06cm)
3T	3T(18cm)	2T(12cm)	3T(18cm)	2T(12cm)
4T	4T(Sup.)	1T(06cm)	1T(06cm)	4T(Sup.)

Todas las repeticiones se ubicaron en una superficie inclinada con pendiente de 5.5 m, de 2.4 m de ancho y 25 m de longitud, con 4 hileras de riego y 62 goteros autocompensados en cada hilera distanciados 0.4 m.

c. Bloque experimental

La superficie de cada bloque experimental fue de 60m^2 (25m x 2.4m), constituida por cuatro laterales.

d. Unidad experimental

La superficie de cada unidad experimental fue de 15m^2 (25m x 0.6m), constituida por 62 goteros por cada lateral y 187 semillas.

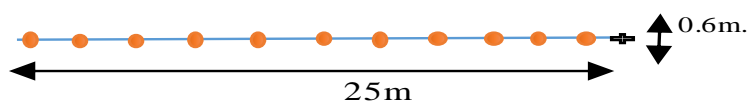


Figura 2.5. Unidad experimental para la evaluación

Fuente: Elaboracion propia

e. Diseño agronómico con fines de evaluación

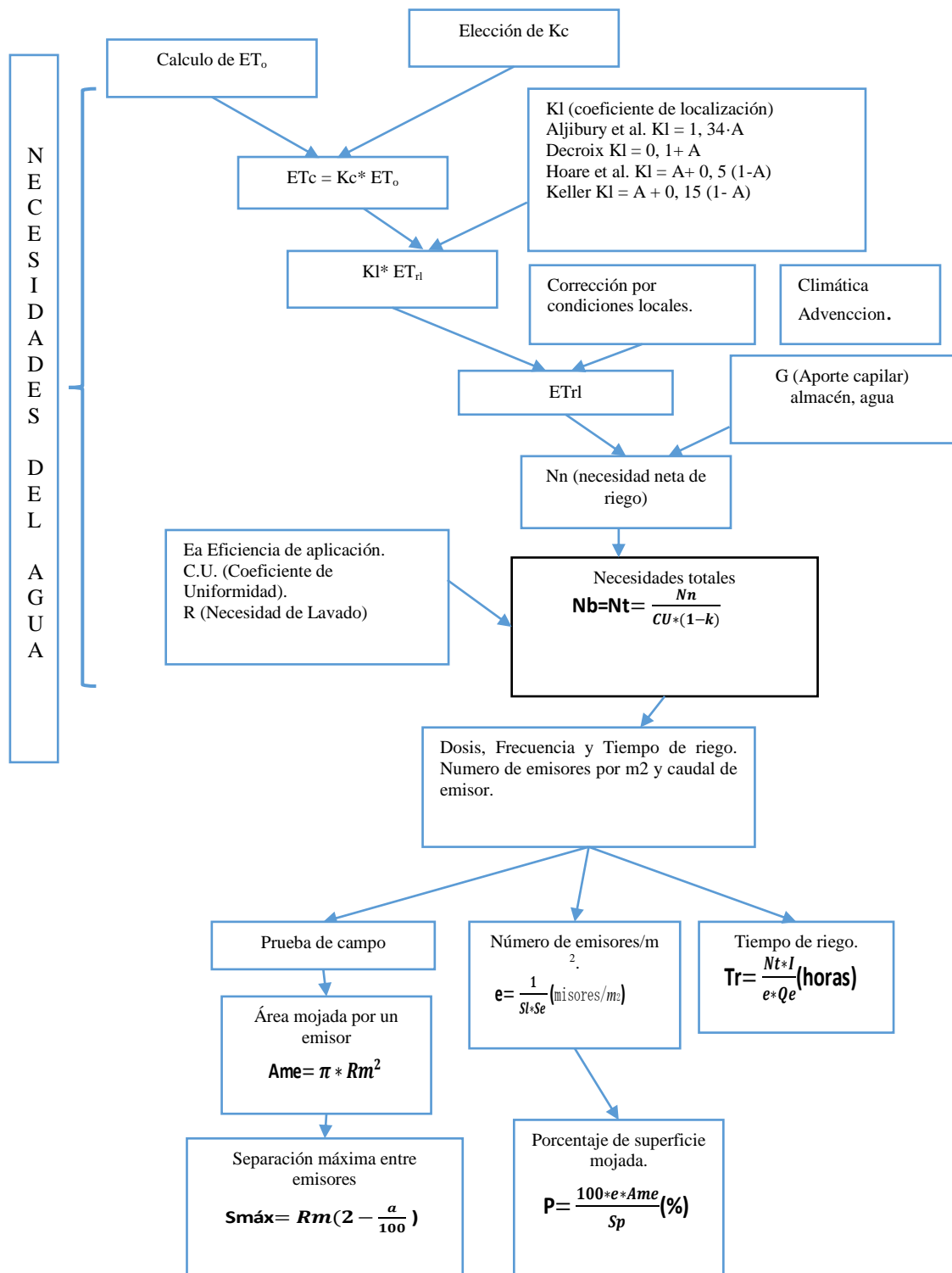


Figura 2.6. Esquema de diseño agronómico

Fuente: Pizarro (1996).

Tabla 2.5. Valores de Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETo

Descripción	Ene.	Feb	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Eto (mm/día)	4.46	4.91	4.04	3.87	3.47	3.21	3.66	3.87	4.42	4.50	5.01	4.51
Kc	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Área sombreada %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
E. Localización Kl	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Etc (mm/día)	3.85	4.23	3.48	3.34	2.99	2.77	3.16	3.34	3.81	3.88	4.32	3.89
Etc (mm/mes)	119.25	118.58	108.02	100.14	92.78	83.06	97.86	103.47	114.37	120.32	129.63	120.59
Ocurrencia de precipit. al 75%	159.23	151.27	97.27	31.13	16.00	9.55	6.15	22.45	31.83	79.63	61.65	113.09
Prec. Efectiva (mm)	118.6	114.6	82.1	29.6	15.6			21.6	30.2	69.5	55.6	92.6
Etrl (mm/mes)	160.45	176.64	145.34	139.22	124.83	115.48	131.67	139.22	159.01	161.89	180.24	162.25
Nn (mm/día)	1.35	2.00	2.04	3.54	3.52	3.73	4.25	3.79	4.16	2.98	4.02	2.25
Nt (mm/día)	1.87	2.77	2.83	4.90	4.88	5.16	5.89	5.26	5.76	4.13	5.57	3.11
I (días)	7	4	4	2	2	2	2	2	2	3	2	4
Ve (lt)	3.20	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
Tr (h)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
(min)	60	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos meteorológicos de Estación Quinua. El máximo valor de Eto se aprecia para el mes de noviembre.

Tabla 2.6. Elección del emisor y su disposición

Área mojada por un emisor:(A _{me})	A _{me} =	0.15	m ²		$A_{me} = \pi R m^2$
Separación Máxima entre emisor:(S _{máx})	S _{máx} =	0.39	0.40		$S_{máx} = R m (2 - \frac{a}{100})$
Distancia de solape		0.04	m		$s = \frac{a * r}{100}$
tanteando % de solape	a (%)	17%	%	1	$a = \left(\frac{2 * R m - S e}{R m} \right) * 100$
Número de emisores.m ² :	e =	4	e.m ⁻²		$e > \frac{S p * P}{100 * A e}$
Cálculo de área mojada por un emisor (A _{me}) considerando los solapes	A _{me} =	0.15	m ²		$A_{me} = (\pi - 2 * (\alpha - (1 - \frac{a}{200}) \text{sen} \alpha)) * R m^2$
Porcentaje de suelo mojado	P =	62%			$p = \frac{100 * e * A e}{S p}$

f. Diseño hidráulico con fines de evaluación de riego

Cálculo de la tolerancia de Caudales y Presiones en la Sub Unidad de Riego

Realizando los cálculos de los datos obtenidos del campo, las constantes del gotero son: $K = 1,570$, $x = 0,018$; la ecuación del gotero será: $q = 1,570 * h^{0,007}$ (Anexo 5.2.10).

Para un caudal medio de trabajo impuesto igual al caudal nominal del gotero $q_a = 1,6$ $l.h^{-1}$ calculamos la presión de trabajo Ec. 8

$$h_a = \left(\frac{1.6}{1.570} \right)^{\frac{1}{0.007}} = 15 \text{ m. M}$$

- Cálculo del caudal y presión mínima de trabajo Ec. 9

Datos:

$CU = 90\%$ (Impuesto en el diseño agronómico)

$CV = 3\%$ (Coeficiente de variación del gotero)

$e = 1$

Del catálogo proporciona por el fabricante:

h_n proporcionada por el fabricante = 0.4bar \cong 4 mca

$$q_{ns} = \frac{\frac{90}{100} * 1.6}{\left(1 - \frac{1.27 * \frac{3}{100}}{\sqrt{1}} \right)} = 1.59 \text{ l.h}^{-1}$$

$$h_{ns} = \left(\frac{1.57}{1.570} \right)^{\frac{1}{0.007}} = 4.4m, \quad h_{ns} > h_n (4.4 > 4) \text{ ok.}$$

Cálculo de la variación de presión en la Sub Unidad de riego

Para el cálculo el valor de $M = 2.5$

$$(Ec. 7) \Delta H_{\text{Sub Unidad}} = 2,5 * (15 - 4.4) = 26.52 \text{ m.}$$

Lo cual se distribuyó entre la tubería terciaria y la manguera o lateral de riego teniendo el siguiente criterio.

$$(Ec. 13) \Delta H_l, \Delta H_t = 0,35, 0,65 \Delta H_{\text{Sub und}} \text{ para } i < 0$$

$$(Ec. 14) H_{\text{lateral}} = 0,35 * 26,52 = 9,28m.$$

$$(Ec. 15) H_{\text{Terciaria}} = 0,65 * 26,52 = 17,24m.$$

Cálculo de la presión de trabajo.

$$h_{\text{máx. Fábrica}} = 43 \text{ mca.}$$

$$(Ec. 10) h_{\text{máx.}} = 26,52 + 15 = 41,5; h_{\text{máx.}} < h_{\text{máx. Fábrica}} \text{ OK.}$$

Cálculo del caudal máximo de trabajo

$$(Ec. 8) q_{\text{máx}} = 1.570 * 41.5^{0.007} = 1.60 \text{ m.}$$

Calculo hidráulica de los laterales alimentados por un extremo

Calculo de velocidad ($q_l = 99.2 \text{ l.s}^{-1}$, $D = 13.8\text{mm}$)

Despejando la (Ec. 1)

$$v = \frac{\frac{1.6}{3600000}}{\pi * \left(\frac{\frac{13.8}{1000}}{2} \right)^2} = 0.184 \text{ m. s}^{-1}$$

Calculo de Reynold para ($v = 1,3 * 10^{-6} \text{ m/sg}$)

$$(Ec. 2) Re = \frac{\frac{13.8}{1000} * 1.84}{1.3 * 10^{-6}} = 1946 \text{ (laminar)}$$

El cálculo de f

Se obtuvo mediante la Ec. 4 en régimen laminar y la Ec. 5 en régimen turbulento.

$$f = \frac{64}{1946} = 0,03$$

Cálculo de pérdida de carga unitaria

$$(Ec. 18) J = \frac{0,03 * 0,18^2}{\frac{13,8}{1000} * 2 * 9,81} = 0,004 \text{ m. m}^{-1}$$

Cálculo de pérdida de carga por efecto de conexión

$$\beta = 1,75 \text{ para } (l_0 = Se)$$

Tipo de conexión: pequeña fe = 0,101 (fe es la longitud equivalente de la conexión del emisor)

$$(Ec. 19) J' = 0,004 * \frac{0,4 + 0,101}{0,4} = 0,01 \text{ m.m}^{-1}$$

Cálculo de coeficiente de Chistiansen

$$(Ec. 20) F = \frac{1}{1-1,75} + \frac{1}{2*62} + \frac{(1,75-1)^{0,5}}{6*62^2} = 1,01$$

Cálculo de pérdida de carga (m)

$$(Ec. 21) hf = 0,005 * 0,372 * 25 = 0,08 \text{ m}$$

Desnivel del terreno

$$(Ec. 22) d = -0,216 * 25 = -5,38 \text{ m}$$

Cálculo de presión inicial del lateral (m)

$$(Ec. 23) h_m = h_n = 15 + 0,733 * 0,08 + \frac{-5,38}{2} = 12,37 \text{ m}$$

Cálculo de presión final del lateral o carga máxima (m)

$$(Ec. 26) h_u = 12,37 - 0,08 - (-5,38) = 17,67 \text{ m.}$$

Variación máxima de carga

En este caso cumple la tolerancia de presiones

$$(Ec. 27) 5,30 < 9,28$$

Diagrama de presiones en una subunidad de riego

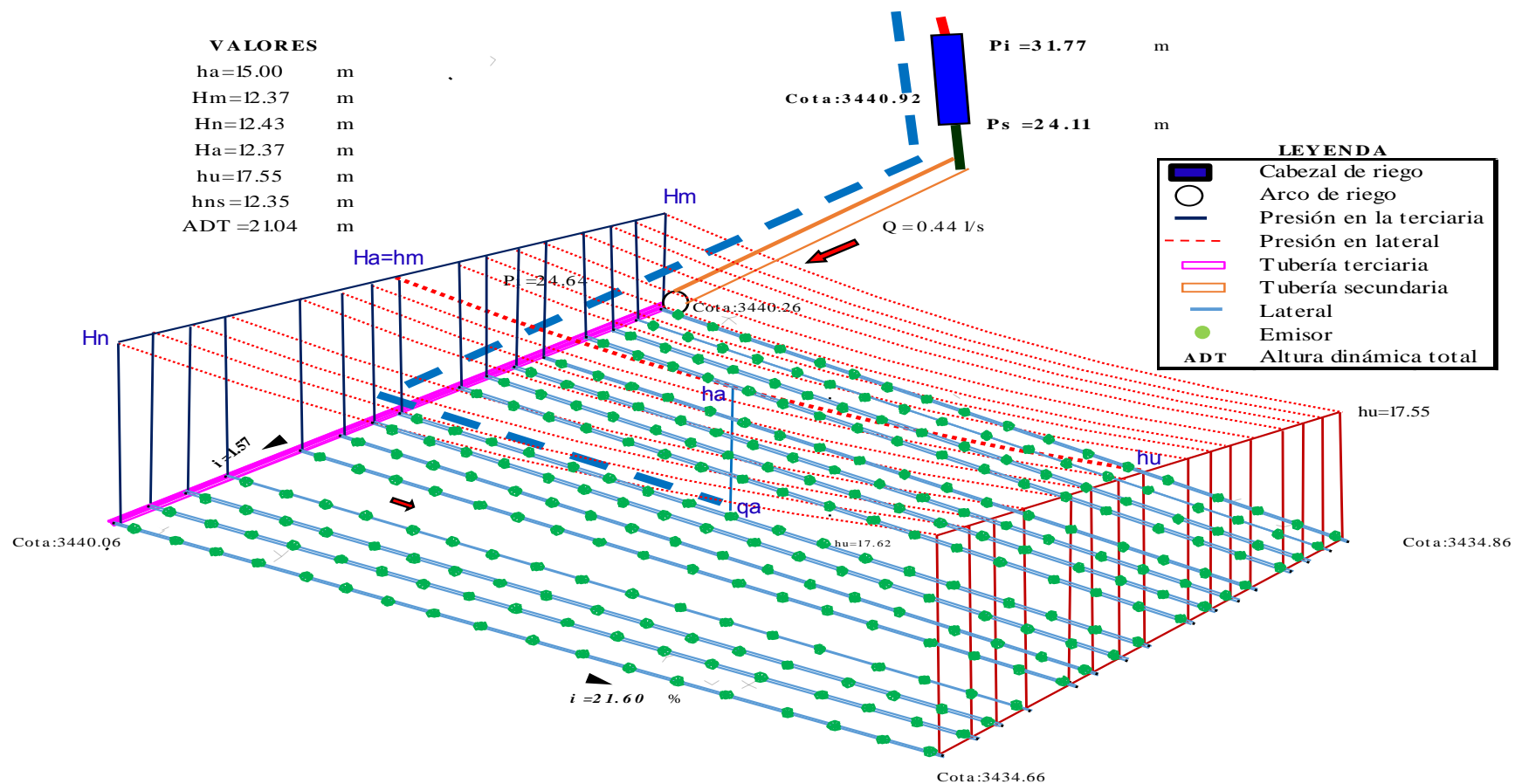


Figura 2.7. Diagrama de presiones en una subunidad de riego

Fuente: elaboración propia.

a. Análisis del bulbo húmedo

Gispert (2008), indica la mejor manera de conocer el tamaño y forma del VSH es mediante una prueba de campo, en la que siempre es conveniente usar caudales similares a los que luego vayan a utilizarse y que estos se apliquen a las presiones nominales correctas que aconseja el fabricante.

Pizarro (1996), precisa que para realizar las pruebas es necesario tener una idea aproximada de las dosis de riego y del caudal de los emisores a utilizar.

La forma y tamaño del bulbo húmedo dependen de los siguientes factores:

- La textura del suelo.
- El caudal de cada emisor.
- El tiempo de riego.
- Obtención Bulbo Húmedo

Según Boswell (1989) y Keller (2005) las estimaciones del bulbo húmedo pueden hacerse mediante los métodos siguientes: con tablas, uso de modelos teóricos y mediante mediciones in situ.

b. Pruebas de campo

Al final de este proceso abriendo una zanja según una línea recta que pase por el punto donde estaba situado el emisor, se toman las medidas necesarias para dibujar con la mayor presión posible la forma del suelo mojado de radio (r) y profundidad (p), para dibujar la forma que adopta el suelo mojado; se utilizarán una vez instalado el sistema, más confiable serán los resultados (Pizarro, 1996).

El radio de humedecimiento efectivo (R_e) se determina mediante:

$$R_e = (1.1 - 1.2) * R_m \dots \dots (Ec. 45)$$

donde:

R_e = humedecimiento efectivo

R_m = Radio mojado

El valor 1.1 corresponde a suelos arenosos mientras 1.2 a suelos arcillosos o arcilla limosos. (Razuri, 1988).

c. Análisis de coeficiente uniformidad a nivel de subunidad de riego

Es un indicador de que tan bien o mal se distribuye el agua en la superficie regada por los goteros. Es una medida de la capacidad del sistema de entregar el mismo volumen de agua a través de los goteros, lo cual está afectado por diferentes factores:

Constructivos: en los procesos de fabricación los modelos y materiales no son exactamente iguales entre sí, generando a igual presión diferentes caudales, dichos factores se engloban en el coeficiente de variación de fabricación.

$$CU = \left(1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{e}} \right) \dots \dots \dots (Ec. 45)$$

donde:

e = Número de goteros por planta

CV = Coeficiente de variación del gotero

Hidráulicos: los emisores están sometidos a diferentes presiones ocasionadas por las pérdidas de carga y por desniveles, pues en hidráulico en función de ella se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores.

Varios autores han trabajado al respecto, siendo el más aceptado el coeficiente establecido por (Merriam & Keller, 1978), cuya ecuación es:

$$CU_h = \frac{q_{ns}}{q_a} \dots \dots \dots (Ec. 46)$$

donde:

CU = coeficiente de uniformidad.

q_{ns} = Caudal mínimo en la Sub. Unidad de riego (no se conoce)
que conforman el 25 % de más bajo caudal.

$$q_{ns} = \frac{CU q_a}{\left(1 - \frac{1.27 CV}{\sqrt{e}} \right)} \dots \dots \dots (Ec. 47)$$

q_a = caudal medio de trabajo de los emisores.

$$q_a = \frac{\sum q_i}{n} \dots \dots \dots (Ec. 48)$$

Se impone un CU para determinar un q_{ns}

El CU puede ser utilizado tanto para la instalación de nuevos equipos como para la evaluación de equipos en funcionamiento. Los valores de coeficientes de uniformidad recomendados se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Valores recomendados para caracterizar el coeficiente de uniformidad.

CU	Uniformidad
90% - 100%	Excelente
80% - 90%	Bueno
70% - 80%	Aceptable
< 70%	Inaceptable

Fuente: Merriam y Keller (1978)

d. Análisis de consumo de agua

En la Figura 2.8 se presenta un diagrama que muestra los pasos a seguir para la determinación del consumo de agua en riego localizado.

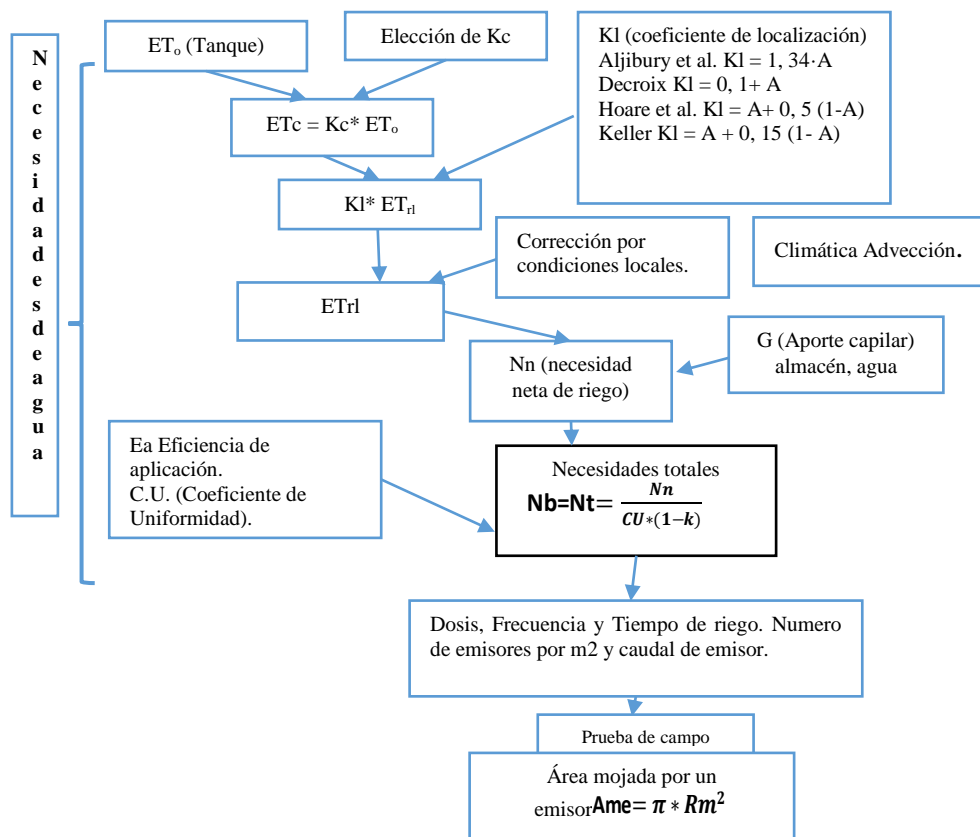


Figura 2.8. Esquema de diseño agronómico

Fuente: Pizarro (1996).

e. Análisis de eficiencia de aplicación

La eficiencia es la proporción del agua total que se aplica al terreno, que es utilizada por el cultivo. En el riego por goteo la mayoría de las pérdidas se reducen considerablemente hasta el punto de que la eficiencia pasa a depender solamente de la uniformidad de aplicación del agua y de la relación de transpiración.

Rodrigo et al (1992), dicen, eficiencia de aplicación, es la relación entre la cantidad de agua necesaria durante un dado de cultivo para mantener la humedad del suelo al nivel requerido que evite indeseables stress en las plantas y la proporcionada a la parcela de riego.

Eficiencia de aplicación, E_a . la cual se define como el cociente entre la cantidad de agua que requiere el cultivo o evapotranspiración real (E_{Tr}) y el agua aplicada (A_a) mediante el riego, multiplicando el producto por cien. Jensen (1967), dicha eficiencia se expresa como:

$$EA = \frac{E_{tr}}{A_a} * 100 \dots\dots (Ec. 49)$$

donde:

E_A = Eficiencia de aplicación.

E_{tr} = Evapotranspiración real.

A_a = Agua aplicada.

En un sistema de esas características, el volumen de riego aplicado respecto al volumen necesario de agua para el cultivo define el grado de eficiencia alcanzado por el sistema.

f. Análisis estadístico

La información que se obtuvo con relación a las variables de respuesta de los tratamientos evaluados se interpretó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) a efecto de conocer si existía diferencia significativa entre los diferentes objetivos evaluados y como no hubo significancia estadísticamente entre los tratamientos no hubo necesidad de realizar una prueba de tukey.

2.3.2 Fase de campo

a. Instalación de los componentes de Sistema de riego por goteo subsuperficial

Los principales componentes del sistema de riego instalado se esquematizan en la figura 2.9.

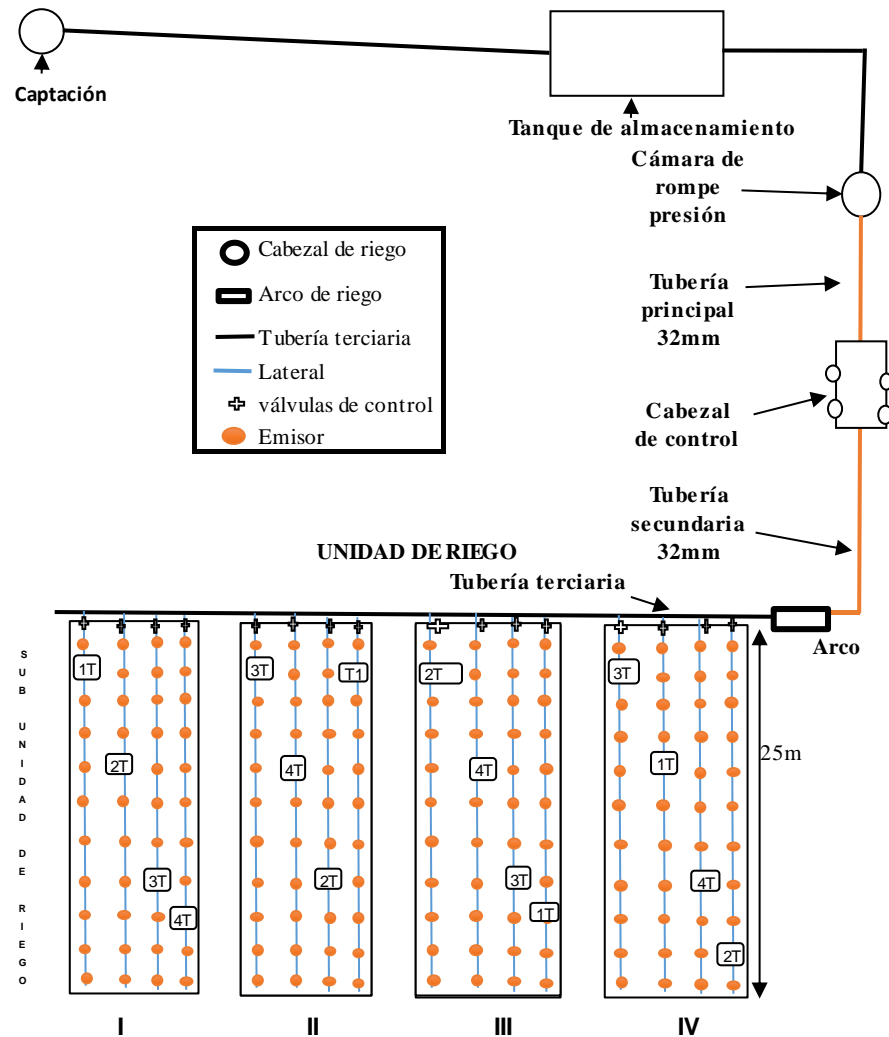


Figura 2.9. Red de distribución en una instalación de riego localizado

- **Fuente de agua.** - La fuente de agua es de manantial llamado “Lambras huaycco”, que se ha utilizado para para alimentar agua al reservorio, para luego transportar hasta el cabezal de riego principal.
- **Preparación de terreno.** - Se efectuó la preparación del terreno ubicado en la Villa Santa Rosa de Chullumpampa consistió en una aradura de 30 cm de profundidad promedio, utilizando un tractor agrícola.

Al término de la aradura, presentó terrones y se tuvo que hacer el roturado, con necesidad de gradeo, quedando el área en condiciones óptimas para proceder con las instalaciones de los laterales con los emisores.

- **Tubería principal.** - Se efectuó la instalación de tubería que conduce el agua desde el cabezal principal hasta los arcos de riego que controlan el sector de riego. La tubería es de PVC de Ø 32 mm de clase 10. Toda la tubería se encuentra enterrada.
- **Tuberías secundarias, bigotes y arco de riego.** - Se efectuó la instalación de tubería que conduce agua desde el arco de riego hasta el final del sector de riego que alimenta agua a las tuberías laterales. El material utilizado es el Polietileno de 32 mm.
- **Cabezal de riego.** – La instalación de cabezal comprendió de un conjunto de accesorios tales como (Filtro de malla. Filtro de anilla, manómetros, válvula de aire, inyector Venturi), que sirven para tratar, medir y filtrar el agua, así como para comprobar la presión. De éste depende, en gran parte, el éxito o fracaso del riego, por lo que debe prestarse una gran importancia a su instalación.
- **Tubería lateral.** – Su instalación consistió en extender la manguera a lo largo de la hilera del cultivo a tres profundidades que va transportar el agua desde la tubería secundaria hasta los emisores o goteros y de estos al suelo. Su trazado se realizó generalmente con pendientes de 5.5m. del terreno.
- **Emisores Finales.** - Son los responsables de suministrar a cada planta del cultivo el caudal y los nutrientes necesarios para su crecimiento. Según la clasificación, el riego se efectuó por medio de emisores integrados autocompensados con las siguientes características (tabla 2.8).

Tabla 2.8. Características de las cintas de goteo.

Cinta a Evaluar						
Marca	Distancia entre emisor (m)	Presión mínima (kg.cm ⁻²)	Presión máxima (kg.cm ⁻²)	Caudal Nominal (l.h ⁻¹ .)	Diámetro (mm.)	intervalo de compensación (bar)
PEUMO	0.4	0.4	4.3	1.6	16/13.8	0.4-2.5

Fuente: Catalogo de PEUMO 2004.

b. Evaluación del bulbo húmedo

Para determinar el bulbo húmedo en el campo se recopiló y procesó la información de las dos variables estudiadas: radio y profundidad del bulbo húmedo, se realizaron una prueba del bulbo de humedecimiento para cada tratamiento después del riego, en un suelo de arcilla arenoso. Para lo cual se aplicó agua a través del riego por goteo subsuperficial, para los tiempos de aplicación: 30 minutos, 38 minutos, 84 minutos, 94 minutos, 105 minutos y 120 minutos. utilizando como tiempo de riego en el campo de la investigación.

Finalizado el tiempo de aplicación, se abrió una zanja, cortando el "círculo mojado" por el punto de goteo en dirección del lateral y hasta 44cm. (profundidad de la capa arable y sistema radicular del cultivo de arveja) de influencia del riego, mostrando la forma del bulbo de humedecimiento cuyo contorno se delimitó.

**Figura 2.10.** Evacuación del bulbo húmedo en riego por goteo subsuperficial a tres profundidades

En la Figura 2.10 se pueden observar el proceso de evaluaciones de las características del bulbo húmedo. Para tal fin, se realizó un corte al suelo (calicata) con una pala, en sentido transversal a la dirección del sentido de los laterales. La profundidad aproximada de la calicata fue 50cm., lo cual fue lo suficiente para observar la forma y dimensionamiento del bulbo.

La recolección de datos se realizó usando el siguiente formato para cada uno de los tratamientos que se muestra en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

	4T		1T		2T		3T	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	
d								
(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	
0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.10	0.09	
0.15	0.11	0.14	0.10	0.14	0.12	0.15	0.12	
0.26	0.14	0.24	0.14	0.25	0.14	0.25	0.15	
0.32	0.15	0.31	0.16	0.33	0.17			
0.38	0.17	0.38	0.18					
0.44	0.19							

c. Uniformidad a nivel de subunidad de riego

Para realizar la evaluación hidráulica se utilizó la metodología de trabajo citada por Merriam y Keller (1978), la cual consiste en seleccionar un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación. En general, se seleccionan 16 emisores para calcular este coeficiente (CU).

Para ello, se eligieron los laterales de cada tratamiento, ubicados al inicio de la múltiple (2T), al final de la misma (1T) y los dos intermedios a 1/3 y 2/3 en el (3T) y (4T) respectivamente de la longitud total de la múltiple. En cada lateral se seleccionó cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios (a 1/3 y 2/3 de la longitud total del lateral).

Se registraron las descargas de cada emisor aproximadamente durante un minuto, recepcionando el flujo en vaso pequeño para luego medirlos con una probeta graduada en mililitro (ml), registrándose los datos que se muestran en el Anexo 5.2.21.

En la Figura 2.11 se presenta la ubicación de los goteros seleccionados en cada unidad de riego.

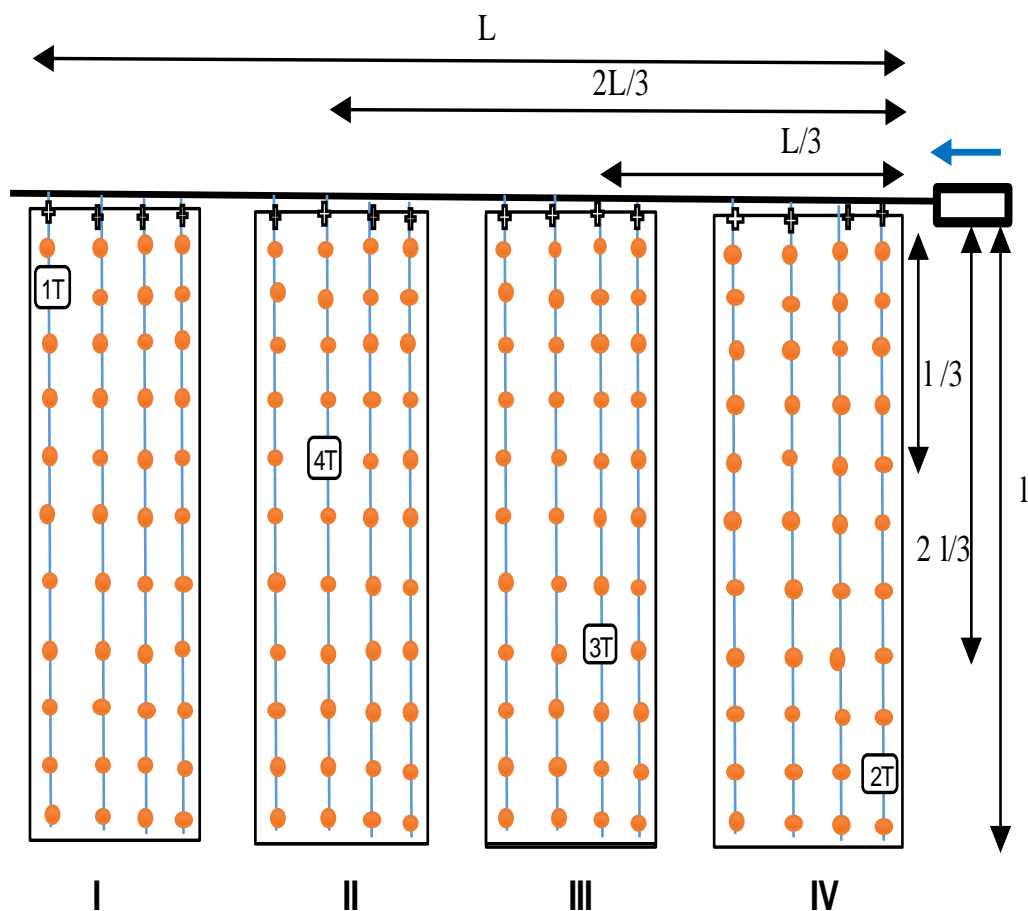


Figura 2.11. Laterales y emisores que se seleccionaron para evaluar la subunidad

En la Figura 2.12 se muestra el registro de volúmenes de agua de la subunidad de riego.



Figura 2.12. Evaluación de Coeficiente de Uniformidad.

d. Evaluación del consumo de agua

Para la evaluación del consumo de agua se aplicaron según la evapotranspiración del cultivo (Etc.), lo cual se calculó con la ecuación $ET_c = E_{To} * K_c$ (Allen *et al.*, 1998), donde: $E_{To} = K_p * E_o$ es la evapotranspiración de referencia estimada con un tanque evaporímetro tipo "A"; afectada ésta por un factor de 0.7, metodología propuesta por Doorenbos y Pruitt (1974). y K_c es el coeficiente del cultivo, el cual se tomó un valor inicial de 0.5, y después 1.15.

La aplicación del agua se hizo según la acumulación de la evapotranspiración, donde en cada riego el volumen aplicado es menor o igual a $3.2 \text{ lts. emisora}^{-1}$ para no ocasionar una percolación profunda, lo cual está limitado por una prueba de campo realizado. Los aforos de agua se determinaron mediante el tiempo de riego.

- Medición de evapotranspiración de referencia (Eto)

Se determinó la evapotranspiración mediante el método del tanque clase A, el cual se instaló cercano a la parcela de la investigación. Los datos meteorológicos que se necesitaron para la determinación de la evapotranspiración diaria, se tomaron dos lecturas por día, cuyos cálculos se realizaron con la (Ec.25).

$$ET_o = 4.77 * 0.75 = 3.58 \text{ mm. día}^{-1}. \text{ para el día 26 de octubre}$$



Figura 2.13. Registro precipitación y evapotranspiración por el Método de Tanque Clase A

- Elección de K_c de la planta

Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo de arveja se tomó tres valores de K_c del FAO - 56: los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c,ini}=0.5$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c,med} = 1.15$) y la etapa final ($K_{c,fin}= 1,10$). Para un periodo vegetativo de 110 días; dividimos el desarrollo fenológico del cultivo en meses para fines de cálculo, de 35 días (26 octubre a 30 noviembre), 30 días (26 diciembre a 26 enero), 20 días (27enero a 15 febrero) respectivamente. Para los días restantes se calcularon con las ecuaciones obtenidas de la figura 2.14 a laves se obtuvo una fase de desarrollo ($k_{c,des} =0.8$) para 25 días (01 noviembre a 25 diciembre).

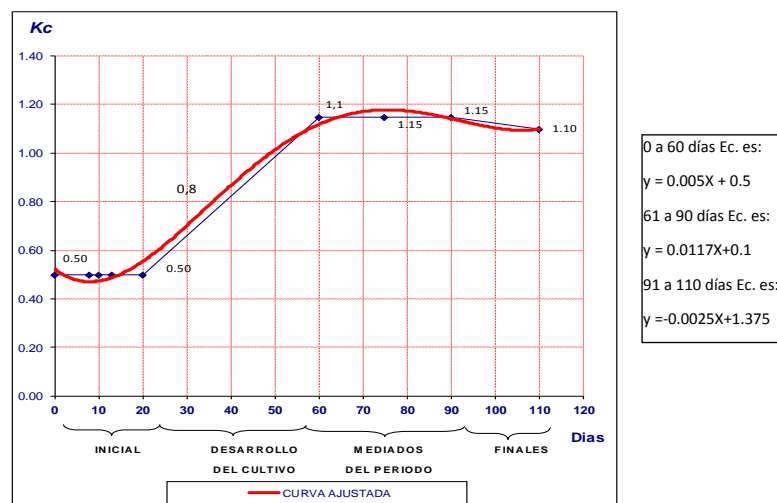


Figura 2.14. Curva de K_c del cultivo de arveja

Fuente: elaboración propia.

- **Evapotranspiración real del cultivo bajo riego localizado (etr_l)**

Se determinó la evapotranspiración real mediante la (Ec.26).

$$ET_c = 3,58 * 0,5 = 1.79 \text{ mm. día}^{-1}.$$

- **Corrección por condición de locales**

Cálculo de K_l

Para el cálculo de K_l se tomó un valor medio de sombra miento, despreciando los dos extremos y haciendo la media aritmética de los dos centrales.

A continuación, realizamos el cálculo de K_l con las siguientes ecuaciones:

Fase inicial: A= 60%

(Ec.27) Aljibury et al. $K_l = 1,34 * A = 1,34 * 0,60 = 0,80$

(Ec.28) Decroix $K_l = 0,1 + A = 0,1 + 0,6 = 0,70$

(Ec.29) Hoare et al. $K_l = A + 0,5 * (1 - A) = 0,60 + 0,5 * (1 - 0,60) = 0,80$

(Ec.30) Keller $K_l = A + 0,15 * (1 - A) = 0,60 + 0,15 * (1 - 0,60) = 0,66$

$$K_l = \frac{0,70 + 0,80}{2} = 0,75$$

Cálculo de Variación climática (K_{cl})

En este estudio se asumió un valor de 1,0 por trabajar con los datos del tiempo real, medidos la evapotranspiración del tanque.

Pizarro (1990), establece que se debe tomar un coeficiente entre 1,15 – 1,20.

Cálculo de Variación por advección (K_{ad})

En nuestro caso, como el número de hectáreas regadas serán 0.03 ha, entonces el valor en el eje de las ordenadas (K_{ad}) es de 1,17, según la figura 1.8.

- **Necesidades netas**

Se calcularon mediante la siguiente (Ec.31)

$$N_n = 1,79 * 0,75 * 1,0 * 1,16$$

$$N_n = 1,56 \text{ mm. día}^{-1}$$

- **Necesidades totales.**

Las necesidades netas de riego se calcularon mediante la siguiente (Ec.33).

$$N_t = \frac{1,56 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}}{0,93 \cdot (1 - 0,20)} = 2,16 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$$

- **Cálculo de las necesidades de lavado**

El cálculo de las necesidades de lavado se realiza mediante el análisis de Conductividad eléctrica del agua de riego y Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, se calcular LR según la siguiente (Ec.34).

Para:

$$CE_i = 0,191 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1} \text{ y } CE_e = 0,479 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$L_r = \frac{0,479 \text{ mmho/cm}}{2 \cdot 0,479} = 0,20$$

$$1 - Ea = 1 - 0,99 = 0,01$$

Como el valor de K se elige el mayor de los dos anteriores, $K = 0,20$

e. Evaluación de eficiencia de aplicación

Se determinó empleado semejante al método en método expeditivo de Jensen (1967), donde se relacionó entre la cantidad de agua que requiere el cultivo en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y el agua aplicada mediante el riego por goteo subsuperficial, multiplicando el producto por cien. Se calcularon mediante la siguiente (Ec.35).

$$Ea = \frac{3,20 - 0,0}{3,22} = 99\%$$

El volumen de riego aplicado, además de considerar las necesidades del cultivo, se consideró tres posibles causas por las cuales el agua se desaprovecho y por cuyo motivo la eficiencia del sistema baja, como son: necesidades de lavado, falta de uniformidad de distribución y pérdidas de agua por percolación profunda. Por tanto, es importante observar que el grado de aprovechamiento del agua de riego y su ahorro será más efectivo en la medida que el diseñador sea capaz de integrar los componentes idóneos del sistema de riego con su mejor manejo acorde a las características propias del entorno (suelo, agua, planta).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Resultado de la evaluación del bulbo húmedo

De acuerdo con los datos registrados de la distribución de humedad en las pruebas de campo, en un suelo arcilla arenoso, se muestran la forma geométrica que más se aproxima y describe el bulbo húmedo en el perfil del suelo, donde las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo y por debajo de la superficie del terreno se muestran de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento 4T: tiempo de riego 2 horas. El radio es de 19cm, a 44cm debajo de la superficie (profundidad del suelo o capa arable).

Tratamiento 1T: tiempo de riego 1.8 horas. El radio es de 18cm, a 38 cm debajo de la superficie.

Tratamiento 2T: tiempo de riego 1.6 horas. El radio es de 17 cm, a 32cm debajo de la superficie.

Tratamiento 1T: tiempo de riego 1.4 horas. El mayor radio es de 14 cm, a 25cm debajo de la superficie.

En la figura 3.1 se observa la formación del bulbo de acuerdo a la profundidad de los emisores.

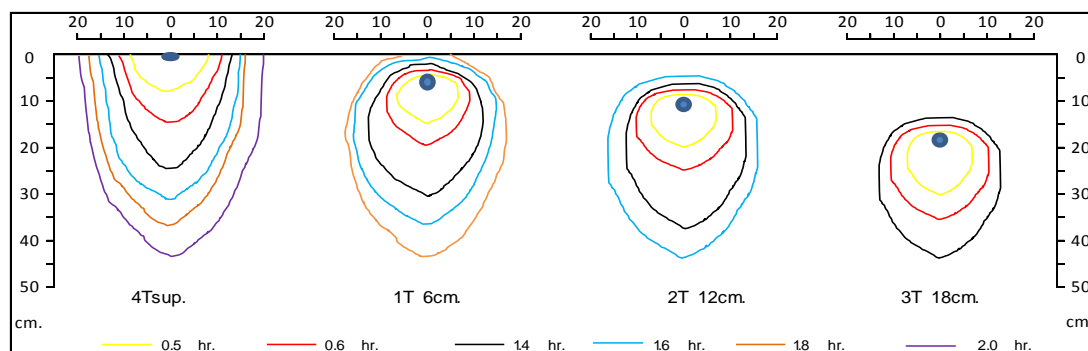


Figura 3.1. Dimensiones de la sección transversal del bulbo húmedo ($q=1,6l.h^{-1}$)

Después de las pruebas en campo se procesó la información de las dos variables estudiadas: radio y profundidad del bulbo húmedo, y se llevó a cabo los análisis estadísticos:

Tabla 3.1. Análisis de varianza entre la diferencia de profundidad- volumen de agua aplicado

<i>Fuente</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Volumen	0.090	5	0.018	0.884	0.512
Error	0.367	18	0.020		
Total	0.457	23			

Según a la tabla 3.1 de los tratamientos en sus factores (caudal y tiempo de riego) nos permite afirmar que todos ellos influyen significativamente en los promedios de profundidad del bulbo; lo cual nos indica que debemos determinar cuál es el mejor nivel de tiempo de riego y también cual es el mejor caudal de goteo según nuestras necesidades de diseño.

Tabla 3.2. Análisis de varianza entre la diferencia de radio - volumen de agua aplicado.

<i>Fuente</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Volumen	0.023	5	0.005	1.049	0.420
Error	0.078	18	0.004		
Total	0.1	23			

Según a la tabla 3.2 puede concluir que no existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre tres profundidades de suelo y el volumen de agua aplicado.

3.2 Coeficiente Uniformidad CU

El comportamiento del CU (%) bajo el sistema por goteo, para el inicio de campaña fue de 93% y para el final 92%, ambos valores obtenidos para este índice fueron elevados, estando comprendidos entre 90 y 100 % valores que lo sitúan con categoría de excelente según Merriam y Keller (1978).

Tabla 3.3. Variación del coeficiente de uniformidad con respecto al tiempo de riego.

Evaluación	Posición secundaria				Presión			q _a	q ₂₅	CU	
	Posición lateral	Final	2/3	1/3	Inicio	Entrada a Cabezal	Salida de Cabezal				Arco de riego
		q(l.h ⁻¹) ¹⁾	q(l.h ⁻¹) ¹⁾	q(l.h ⁻¹) ¹⁾	q(l.h ⁻¹) ¹⁾		Bar				q(l.h ⁻¹) ¹⁾
Primer día de riego	Inicio	1.54	1.56	1.79	1.50	2,99	2,22	2,17	1.6	1.5	93
	1/3	1.61	1.56	2.13	1.54						
	2/3	1.50	1.59	1.61	1.56						
	Final	1.61	1.54	1.54	1.38						
A 60 días de riego	Inicio	1.60	1.60	1.74	1.62	3,05	2,28	2,23	1.6	1.5	93
	1/3	1.60	1.62	1.98	1.47						
	2/3	1.54	1.54	1.47	1.51						
	Final	1.51	1.51	1.69	1.58						
A 120 días de riego	Inicio	1.52	1.70	1.52	1.61	3,02	2,25	2,19	1.6	1.5	93.0
	1/3	1.54	1.54	1.70	1.74						
	2/3	1.88	1.48	1.45	1.52						
	Final	1.50	1.66	1.68	1.54						
A 240 días de riego	Inicio	1.65	1.43	1.56	1.71	2,99	2,22	2,16	1.6	1.5	92
	1/3	1.87	1.56	1.63	1.43						
	2/3	1.54	1.50	1.71	1.63						
	Final	1.65	1.54	1.60	1.58						

La Tabla 3.3 presenta los valores del coeficiente de uniformidad obtenidos a partir de los tratamientos seleccionados en los laterales de riego, de donde se puede observar que las unidades experimentales no presentan problemas en la uniformidad del riego,

esto nos indican que el sistema está realizando una distribución equitativa del agua a las plantas.

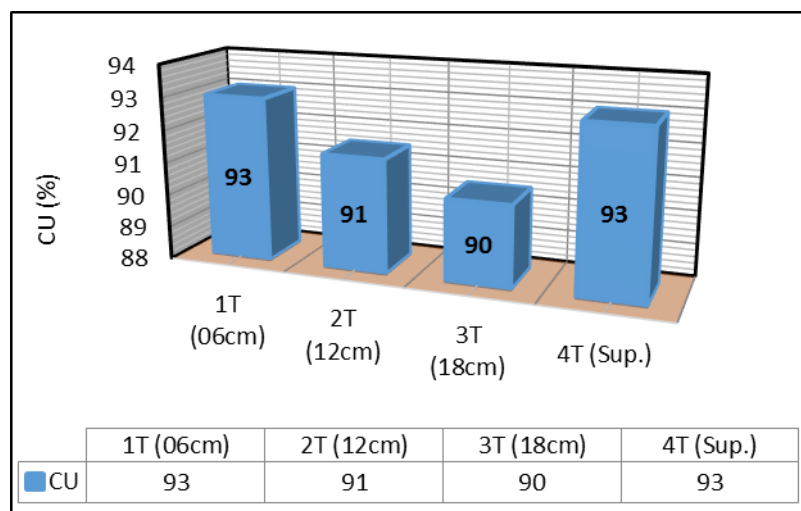


Figura 3.2. Comparación de CU en tres profundidades de riego.

En la figura 3.2 se aprecia una disminución del volumen de agua aplicado a medida que se incrementa la profundidad de soterramiento, donde 3T, su caudal disminuyó en 3 y el tratamiento 2T varió en 2 con respecto al de 4T(testigo), esto se puede ser por el aumento de la influencia del peso de la masa de suelo sobre el emisor, que hace mayor la fuerza positiva que ejerce el suelo en oposición a la salida de su caudal o la dificultad que se tiene de aforar.

3.3 Consumo de agua bajo el riego por goteo subsuperficial

En función de la estimación de la ET_c , se calcularon los volúmenes de agua que se utilizaron en riego de los tratamientos evaluados. Como se observa en la figura 3.3 el volumen de agua aplicado en riego por goteo superficial 4T ($3,360.22 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) fue superior al utilizado en los tratamientos (1T, 2T. y 3T.) en riego por goteo subsuperficial en los que se utilizaron distintas proporciones de agua de acuerdo a la prueba de campo.

Así, el volumen de agua aplicado para los tratamientos 1T ($3,358.57 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) y 2T ($3,353.04 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) fue menor que el volumen aplicado en el tratamiento testigo 4 T (Testigo).

Mientras que en 3T ($3345.27 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) habiendo una diferencia mínima de agua aplicado con respecto al 4T.

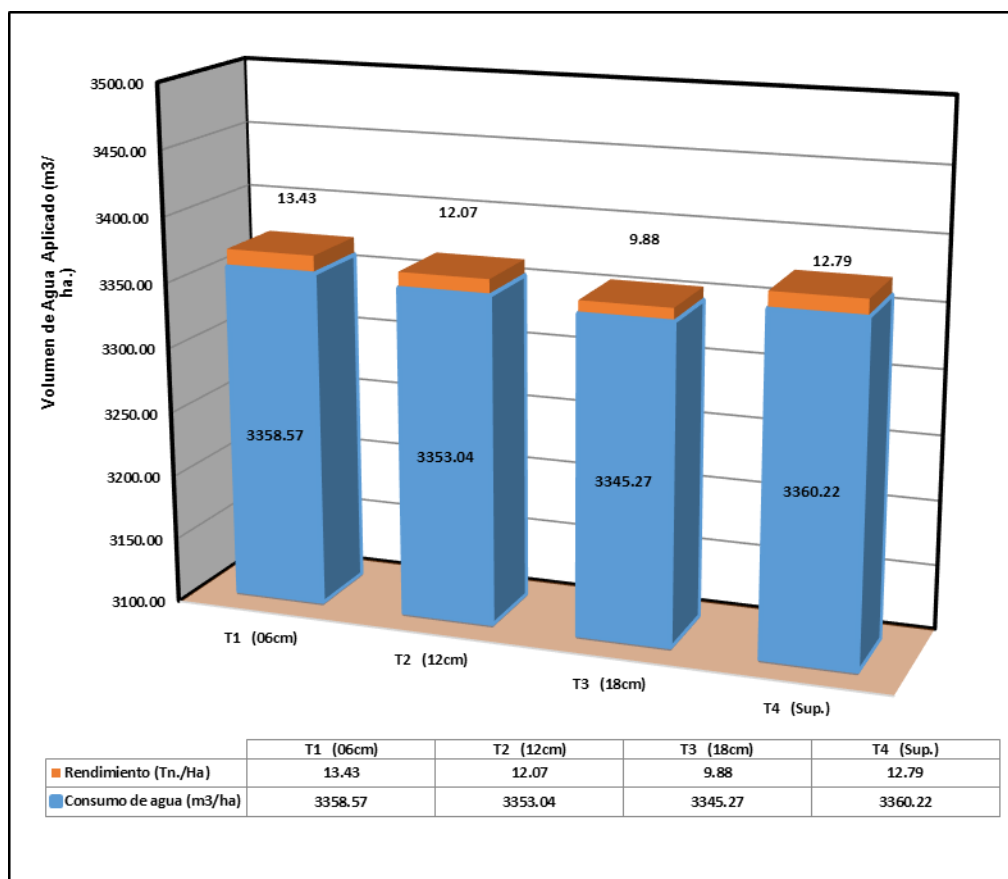


Figura 3.3. Volumen total de agua aplicado ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) sometidos a cuatro profundidades de riego en cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

La Figura 3.3 también nos muestra el rendimiento máximo de arveja verde, donde $13.43 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ fue para el tratamiento de 1T de 6cm. de profundidad de riego, aplicando agua justo a la a la raíz de la planta, lo cual incremento la producción en 5% y con un ahorro mínima de agua, con respecto al 4T.

Los rendimientos de 12.07 y 12.79 $\text{Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ correspondieron a los tratamientos de 2T Y 4T respectivamente; por último, el rendimiento de 9.88 $\text{Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ correspondió a la de 18cm, lo cual fue estadísticamente diferentes al de 4T (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), (anexo 5.2.21), esto pudo deberse a la poca afloramiento de agua a la superficie, esto fue creando un déficit de humedad en el suelo, afectando en la germinación y crecimiento

adecuado de la planta, en consecuencia, estrés, lo cual se manifestó de manera negativa en el rendimiento del cultivo.

3.4 Resultado de la evaluación Eficiencia de aplicación

Según la figura 3.4 la eficiencia de aplicación encontrada es constante, con la diferencia que en 4T, fue inferior de los tratamientos de riego subsuperficial.

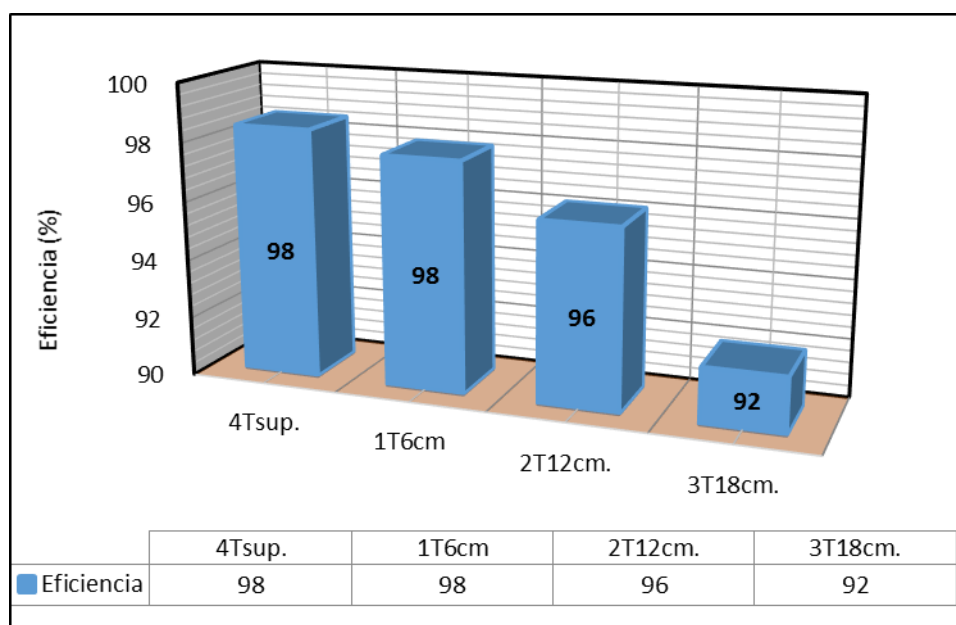


Figura 3.4. Eficiencia de aplicación en tres profundidades de riego.

Tabla 3.4. Resultados de eficiencia de aplicación.

Tratamiento	Eficiencia de Aplicación															
	s	26-	30-	04-	09-	13-	18-	21-	25-	29-	03-	07-	12-	17-	02-	21-
	oct	oct	nov	nov	nov	nov	nov	nov	nov	nov	dic	dic	dic	dic	ene	ene
4T_{sup.}	99	99	98	98	97	98	100	98	98	98	98	98	98	98	99	98
1T_{6cm.}	86	99	98	98	97	98	100	98	98	98	100	100	98	99	98	
2T_{12cm.}	77	94	88	92	100	91	98	100	100	100	100	100	100	100	100	
3T_{18cm.}	68	83	78	81	88	80	86	100	100	100	100	100	100	100	100	

La información de la tabla 3.4 nos muestra que los primeros siete riegos, la eficiencia de aplicación fue distinta en los tratamientos 1T_{06cm.}, 2T_{12cm.} y 3T_{18cm.} esto debido a la ocurrencia de la percolación, mientras que a partir del octavo riego fueron excelentes más que nada para el 2T_{12cm.} y 3T_{18c.} El sistema de riego por goteo

subsuperficial a diferentes profundidades fue menos eficiente a nivel en todo el riego que de $4T_{sup}$. Una óptima eficiencia de aplicación con el método expeditivo de Jensen (1967).

CAPÍTULO IV

DISCUSIONES

1. Bulbo húmedo

Los resultados concuerdan con los de Pizarro (1990) quien indica un mayor movimiento vertical del agua al aumentar el tiempo de riego afectando muy poco el desarrollo horizontal de la zona mojada según el tipo de suelo, concluyendo que las fuerzas gravimétricas predominan ligeramente sobre las mátricas.

De acuerdo con los datos registrados en las pruebas de campo en un suelo arcilla arenoso, la forma geométrica del bulbo húmedo en el perfil del suelo es de forma elipsoide truncado, tal como lo menciona Peña y Brown (2000).

Debemos señalar que la importancia de estas relaciones del radio, profundidad de humedecimiento y el volumen de agua aplicado, radican en dar un estimado bastante confiable de agua necesario para humedecer la profundidad radical del cultivo, en cada uno de sus diferentes estadios de crecimiento lo que evidentemente permite disminuir de forma significativa las pérdidas por percolación profunda. Por lo que es necesario el estudio de los aspectos que optimicen la instalación; para lo cual, se requiere previamente conocer el movimiento y distribución del agua en el perfil del suelo.

En tal sentido, la evaluación y estimación de la forma y tamaño del bulbo de humedecimiento, es esencial, puesto que permite determinar la dosis de riego, tiempo de riego, número de emisores por planta y caudal de los emisores durante el diseño agronómico de riego por goteo; por lo tanto, una adecuada información del VSH repercutirá en la optimización del diseño, necesario para el cultivo (Keller, 2005).

2. Coeficiente uniformidad CU.

El resultado obtenido con el paso del tiempo es excelente con 92 y 93% de CU, estos resultados similares efectos son reportados por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (2005), para líneas porta goteros que situadas a 30 cm de profundidad llevan funcionando unos 5 años sin registro alguno de pérdida de caudales en goteros.

Mientras los resultados obtenidos a diferentes profundidades difieren con los obtenidos por Manuel & Omar (2012) en su experimento del sistema de riego por goteo superficial y tres con sistemas de riego por goteo subsuperficiales con emisores soterrados a 15, 30 y 45 centímetros de profundidad encuentran disminución del volumen de agua aplicado a medida que se incrementa la profundidad de enterramiento del emisor.

3. Consumo de agua

Se obtiene mejor rendimiento (13,43 Tn. ha⁻¹) con un consumo de agua de 3358,57 m³.ha⁻¹) a 6cm. de profundidad, donde estos resultados son similares obtenidos por (Herrera, 2014), quien en su experimento encuentra el mejor rendimiento a 5cm de profundidad y manifiesta que a ese nivel se encuentran la mayor parte de las raíces absorbentes y mientras León (2002) menciona, para condiciones propias de clima y suelo (Canaán bajo – INIA Ayacucho), el cultivo de arveja requiere una lámina de 335mm. campaña, para obtener un rendimiento de 13 t. ha⁻¹ de arveja en verde y 2.93 t. ha⁻¹ en grano seco, bajo un sistema de riego por goteo.

4. Eficiencia de aplicación

Para lograr una eficiencia de aplicación excelente; además de considerar las necesidades del cultivo, debe considerar tres posibles causas por las cuales el agua es desaprovechada y por cuyo motivo la eficiencia del sistema baja, como son: necesidades de lavado, falta de uniformidad de distribución y pérdidas de agua por percolación profunda.

CONCLUSIONES

1. La forma geométrica que describe el bulbo húmedo en superficie plana bajo goteros auto compensados de $1,61.h^{-1}$, en un suelo arcilla arenoso es de un elipsoide truncado, donde el corte es la superficie plana del suelo, con ochenta y cuatro hasta ciento veinte minutos se observa que el agua avanza de forma homogénea tanto vertical como horizontalmente, donde humedad avanzara tanto en profundidad como en sentido horizontal con ligera diferencia al radio y aumentando hasta ciento veinte minutos de riego, donde la variación de radio y profundidad es ligera, en promedio 4 cm para ambas.

En conclusión, la estimación de la forma y tamaño del bulbo de humedecimiento o volumen de suelo húmedo (VSH), es esencial, puesto que permite determinar el tiempo de riego, para humedecer la profundidad radical del cultivo (44 centímetros), en cada uno de sus diferentes estadios de crecimiento lo que evidentemente permite disminuir de forma significativa las pérdidas por percolación profunda.

2. Se concluye que el coeficiente de uniformidad no presento problemas en la uniformidad respecto al tiempo de riego ya que los valores calculados del CU se encuentran en niveles muy satisfactorios (excelentes); mientras al evaluar por tratamiento se obtuvo el mejor comportamiento con respecto al resto en 1T y 4T. mientras en 2T y 3T se aprecia una disminución del volumen de agua aplicado a medida que se incrementa la profundidad de enterramiento y el paso del tiempo (240 días), dado por el aumento de la influencia del peso de la masa de suelo sobre el emisor, que hace mayor la fuerza positiva que ejerce el suelo en oposición a la salida del caudal del emisor.

3. El ahorro de agua en el sistema de riego subsuperficial fue de 1.48 m^3 , con respecto al sistema de riego por goteo superficial, donde la aplicación de volumen de agua relativos de ET_c calculados con la metodología Tanque evaporímetro afectaron significativamente a variables del rendimiento de la arveja. La aplicación en 1T produjo significativamente un 22% más de fruto con respecto de los otros tratamientos 2T y 3T, aunque 4T fue significativamente igual que 1T en cuanto al rendimiento (12.79 Tn.ha^{-1} y 13.43 Tn.ha^{-1} , respectivamente); sin embargo, el volumen de agua de riego aplicado en 4T fue de 1.48 m^3 más que el 1T, lo cual no fue significativa mayor, mientras con respecto a los tratamientos 2T y 3T el agua que se aplicó fue de menor volumen al de 1T, obteniendo un rendimiento significativamente menor solo para 3T.

En conclusión, la profundidad del sistema de riego por goteo subsuperficial con el que se obtuvo mayor rendimiento de arveja es de 6cm. de profundidad, con un volumen de $3358.74 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de agua aplicado.

4. En la evaluación de eficiencias de aplicación sobre el uso del agua en el sistema de riego subsuperficial, es relativamente fácil cometer errores si no se tiene en cuenta las características del suelo, al aplicar toda el agua estimada donde puede ocasionar pérdida por percolación. En el caso analizado de la investigación, se ha visto que la eficiencia de aplicación para el tratamiento 4T fue mayor de 97%, y en el 1T, 2T y 3T el valor mínimo fue de 68% esto se debe a la percolación de agua en los primeros siete riegos, donde se aplicaron la misma dosis de agua para los cuatro tratamientos, mientras a partir del octavo riego el riego se hizo de acuerdo al prueba de campo obteniendo una eficiencia excelente en 2T y 3T., con el cual concluimos que el sistema empleado para investigación fue buena, donde con este tipo de sistema se reducen las pérdidas de agua significativamente tanto por evaporación y percolación y su ahorro será más efectivo en la medida que el diseñador sea capaz de integrar los componentes idóneos del sistema de riego con su mejor manejo acorde a las características propias del entorno (suelo, agua, planta).

RECOMENDACIONES

1. Resultados de Volumen de Suelo Húmedo (VSH) determinados según la metodología descrita anteriormente pueden ser empleados en los suelos de arcilla arenoso de 44 cm. de profundidad de capa arable, cuyos datos determinará el mejor comportamiento agronómico de los cultivos, teniendo presente el tiempo de riego con un caudal de 1.6 l.h^{-1} por emisor, para evitar pérdidas por percolación profunda y con un consumo total de agua de $3358,57 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ durante el periodo vegetativo a 6cm de profundidad. Se recomienda, para futuros estudios, evaluar el VSH considerando más de un riego (después de riegos sucesivos) teniendo presente la frecuencia de riego futuro.
2. Al realizar riego por goteo subterráneo, es importante revisar que los goteros no se obturen, lo cual se puede realizar observando si existe la presencia del bulbo húmedo en la superficie del suelo y debajo de ella.
3. Para futuras investigaciones, el riego por goteo subsuperficial se recomienda para el cultivo de arveja una la lámina de riego (335.86 mm). a 6 cm de profundidad., ya que a ese nivel se desarrollan mayor parte de las raíces absorbentes lo cual aprovechan el agua al máximo y pueden incrementar la producción del cultivo.
4. Se recomienda a la Universidad, mediante la Facultad Ciencias Agrarias dar la facilidad de los campos de experimentales para realizar este tipo de trabajos de investigación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and drainage paper 56.
2. Camp, C. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. Trans. of the ASAE (41:5:1353-1367).
3. FAO. 2006. Riego y drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. N° 56. Roma. Italia. pág. 1-120
4. FUENTES YAGÜE, José Luis. 1998. "Técnicas de Riego". Tercera edición. España, Ediciones Mundi-Prensa. pp 16-18.
5. Herrera, G.I. 2014. Evaluación del Sistema de Riego por Goteo a Tres Profundidades, con Dos Dosis de Abonamiento Órgano - Mineral Edáfica, en la Producción Limpia de Tomate de MESA (*Lycopersicum esculentum* Mill). TUMBACO, PICHINCHA. Tesis Ing. Agr. Ecuador, 109 p.
6. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, MX). 2007. Sistema de riego por goteo subterráneo. Compilador Chávez A. Fundación Produce. 48 p. Consultado el 2 agosto 2014 Disponible en: <https://www.google.com.pe>
Producción de alfalfa con riego por goteo subsuperficial o subterráneo /Sistema%20Riego%20Subterraneo%20para%20la%20alfalfa.pdf
7. Keller J. and Merriam, J.L., 1978 Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Utah State Univ-Logan.
8. Marhuenda B., J. 1999. Ventajas y beneficios del riego por goteo subterráneo. Primer Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. Tecnología para el Ahorro del Agua y Energía. León, Guanajuato. México. 8 pp.
9. Medina San Juan, José A. 1997. "Riego por Goteo". Cuarta edición. España, Ediciones Mundi-Prensa, pp 85-86; 98-99, 104; 106; 140; 171-172.
10. Osorio, A 1996. Riego por goteo. Conceptos y criterios de diseño. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, -México.
11. Pizarro Cabello, Fernando. 1996. "Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)". Tercera edición. España, Ediciones Mundi-Prensa. 513 p.

12. Peña, C.M y Brown MO. 2000. Forma y dimensiones geográficas del bulbo húmedo bajo los goteros en suelos ferri líticos rojos Publicación Ingeniería Hidráulica y Ambiental. -Cuba.
13. Puga, J. 1992. Manual de Arveja. Quito, Ecuador. Edit. Promoción de Exportaciones Agrícolas No Tradicionales. pp. (4...49).
14. P. K Swamee y A. K. Jain, "Explicit Ecuations for Pipe-Flow Problems" J. Hydraulic Div. Proc. ASCE. pp 657-664. Citado por Irving H. Shames en Mecánica de Fluidos Pág.333
15. Requena, A. 1998. Ensayo por goteo en manzanas Gala. La variante subterránea. Rompecabezas 25. Est. Esp. INTA Alto Valle. 14 pp.
16. Rodas, H. y Cisneros, P. (2000). Principios de riego por goteo. Revisado septiembre 2014. Disponible en:
www.mag.gob.sv/administrador/archivos/0/file_974.doc.
17. Rodrigo López, J.; Hernandez Abreu, J. M.; Pérez Regalado, A. y González Hernández, J. F. 1992. "Riego Localizado". Primera edición. España, Ediciones Mundi Prensa, pp 146-147; 171-178.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis físico y químico del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN PASTOS Y GANADERÍA
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANÁLISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 151505

Ayacucho – Perú
 “Año de la Promoción de la Industria Responsable y Compromiso Climático”

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : San José de Ticllas
 Comunidad : Santa Rosa de Chullumpampa
 Proyecto : “Tesis”
 Solicitante : Sr. William Lázaro Nuñez Huamani
 Edwin Quispe Jauregui

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

Muestra (Clave)	Análisis mecánico (%)		Clase Textural	pH (H ₂ O)	C. E. (dS/m.)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)				Cationes intercambiables (cmol(-)kg)			C. I. C. (CaoltrpKa)	
	Arena	Limo							P	K	Ca	Mg ⁺⁺	K	Na	Al ³⁺		H ⁺
01	45.4	15.8	38.7	6.04	0.479	0.0	1.90	0.09	10.7	46.7	4.8	2.3	0.24	-,-	0.0	0.0	11.2

Ayacucho, 14 de Octubre del 2014.

LABORATORIO DE ANÁLISIS D. SUELOS
 PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
 Juan El Cirón Molin
 C.I.P. 17428

Densidad aparente (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)
1.28	31.6	17.2

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franco; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; FrAr: Franco arcilloso; FrArL: Franco arcilloso limoso; FrArL: Franco arcilloso limoso; ArL: Arcilloso limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 2. Resultados de análisis de agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 151505

Ayacucho – Perú

“Año de la Promoción de la Industria Responsable y Compromiso Climático”

Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : San José de Ticllas
Comunidad : Chullumpampa
Proyecto : “Tesis”
Solicitante : Srs. William Nuñez Huamani
Edwin Quispe Jáuregui
Marco Antonio Oré Flores

ANALISIS DE AGUA

DETERMINACIONES	FUENTE	
	Manantial Tayapampa	Q=
CATIONES (meq./ Litro)		
CALCIO (Ca ⁺⁺)	0.44	
MAGNESIO (Mg ⁺⁺)	0.28	
POTASIO (K ⁺)	0.18	
SODIO (Na ⁺)	1.18	
AMONIO (NH ₄ ⁺)	0.00	
ANIONES (meq./ Litro)		
BICARBONATOS (HCO ₃ ⁻)	0.71	
CARBONATOS (CO ₃ ⁻)	0.00	
CLORUROS (Cl ⁻)	1.22	
FOSFATOS (PO ₄ ⁻³)	0.00	
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	0.00	
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	0.16	
OTRAS DETERMINACIONES		
pH	7.54	
CE. (dS/m.)	0.191	
Sólidos en Suspensión (g/litro)	0.052	
Sales Solubles Totales (ppm)	78.0	
Relación de Adsorción de Sodio	1.97	
Dureza Total (ppm CaCO ₃)	36.0	

OBSERVACIONES: Por el reporte analítico el agua es apta para fines de riego.

Ayacucho, 29 de Setiembre del 2014

LABORATORIO DE ANALISIS D. SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE
Juan B. Ciron Molin
C.I. 6. 77120

Anexo 3. Datos de estación meteorológica (Quinua)

Humedad relativa mensual.

ESTACIÓN	: Quinua	DIST.	: Quinua	ALTITUD	: 3316 msnm
		PROV.	: Huamanga	LATITUD	: 13° 2' 2"
		DPTO.	: Ayacucho	LONGITUD	: 74° 8' 7"
MES/AÑO	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO
Enero		83.74	82.62	94.67	87.01
Febrero		88.55	92.68	85.10	88.78
Marzo		87.17	83.61	83.24	84.67
Abril	77.33	82.52	75.54	78.85	78.56
Mayo	72.69	75.29	74.79	73.81	74.15
Junio	71.17	71.30	75.93	73.31	72.93
Julio	66.70	70.90	75.03	67.45	70.02
Agosto	66.50	70.37	72.41	72.55	70.46
Septiembre	71.07	74.72	71.16	70.38	71.83
Octubre	73.10	73.59	75.78	104.86	81.83
Noviembre	71.03	72.94	74.99	78.87	74.45
Diciembre	80.92	81.95	82.11	86.97	82.99

Velocidad de viento.

MES/AÑO	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO
Enero		2.75	2.70	2.13	2.53
Febrero		2.00	2.35	2.17	2.17
Marzo		2.17	2.70	2.46	2.45
Abril	3.25	3.08	2.85	2.77	2.99
Mayo	3.00	2.67	2.60	2.93	2.80
Junio	3.33	2.52	2.80	2.82	2.87
Julio	3.42	3.00	2.62	2.93	2.99
Agosto	2.96	3.08	2.73	3.00	2.94
Septiembre	3.12	3.22	3.66	2.91	3.23
Octubre	3.25	3.27	2.73	3.40	3.16
Noviembre	3.46	3.40	3.10	2.55	3.13
Diciembre	3.00	2.53	2.37	2.8	2.67

Evapotranspiración obtenida del campo.

MES	FECHA	T° máx.	T° mín.	Ev. (A) (mm/día)	HR %	V.V. (m/s)	Ktan	ETp (mm/día)
Octubre	1	20.9	9	4.00		2	0.75	3.00
	2	21.6	8.1	6.00		2	0.75	4.50
	3	21.5	8	5.00		2	0.75	3.75
	4	19	8	4.00		2	0.75	3.00
	5	15.5	9.1	5.00		2	0.75	3.75
	6	19.7	8	4.00		2	0.75	3.00
	7	19.8	6.6	5.00		2	0.75	3.75
	8	18.3	8.3	5.00		2	0.75	3.75
	9	18	5.6	5.00		2	0.75	3.75
	10	18.5	6.3	4.00		2	0.75	3.00
	11	21.4	6	4.18		2	0.75	3.13
	12	20.5	8.4	5.00		4	0.75	3.75
	13	14.6	9.2	6.00	81.83	4	0.75	4.50
	14	17	7	5.00		2	0.75	3.75
	15	20.2	7.5	5.00		2	0.75	3.75
	16	20.9	8.7	5.00		2	0.75	3.75
	17	18	9.6	5.00		2	0.75	3.75
	18	21.7	7.9	5.00		2	0.75	3.75
	19	18	9.5	4.00		2	0.75	3.00
	20	23.1	6.8	5.51		2	0.75	4.13
	21	21	8	6.14		4	0.75	4.61
	22	14.6	8.9	4.00		6	0.75	3.00
	23	21	8.6	5.00		6	0.75	3.75
	24	17.6	9.6	4.00		4	0.75	3.00
	25	20.1	8.1	4.00		2	0.75	3.00
	26	17.5	9	7.00		4	0.75	5.25
	27	16.1	9	1.91		4	0.75	1.43
	28	19.7	9.3	4.00			0.75	3.00
	29	22	7	6.00		2	0.75	4.50
	30	21.6	8.2	5.00		4	0.75	3.75
	31	22	8.8	6.00		2	0.75	4.50
Noviembre	1	21.6	7.5	5.00		4	0.75	3.75
	2	16.5	7.4	2.00		4	0.75	1.50
	3	21.5	8.9	5.00		4	0.75	3.75
	4	18.6	8.5	5.00		4	0.75	3.75
	5	21.1	8	4.00		2	0.75	3.00
	6	21.1	8	4.00		2	0.75	3.00
	7	21.6	8.4	3.00		2	0.75	2.25
	8	23	8.5	4.00		2	0.75	3.00

MES	FECHA	T° máx.	T° mín.	Ev. (A) (mm/día)	HR %	V.V. (m/s)	Ktan	ETp (mm/día)
	9	20.6	7.6	3.80		4	0.75	2.85
	10	20.4	8.8	4.54		4	0.75	3.41
	11	20.7	5.9	4.00		2	0.75	3.00
	12	21	8.5	6.01	74.45	2	0.75	4.51
	13	19.5	8.8	5.79		4	0.75	4.34
	14	18.9	9.6	4.00		2	0.75	3.00
	15	21.4	10	4.00		4	0.75	3.00
	16	20.3	8.6	2.00		2	0.75	1.50
	17	21.5	9.5	4.00		4	0.75	3.00
	18	21.8	8.9	6.00		4	0.75	4.50
	19	22.4	8	8.00		2	0.75	6.00
	20	23.4	7	4.00		4	0.75	3.00
	21	18.6	10.2	5.00		2	0.75	3.75
	22	20.6	7.7	4.00		4	0.75	3.00
	23	19.5	7.2	5.00			0.75	3.75
	24	22.3	6.9	4.00		2	0.75	3.00
	25	22.4	9	4.00		2	0.75	3.00
	26	20.9	9.3	4.88		2	0.75	3.66
	27	22	8.7	4.00		6	0.75	3.00
	28	21	9.6	4.00		4	0.75	3.00
	29	22.5	9.5	5.00		4	0.75	3.75
	30	18.4	9.7	5.00		2	0.75	3.75
Diciembre	1	19.6	9.5	4.00		2	0.75	3.00
	2	15.2	7.4	3.00		2	0.75	2.25
	3	12.2	7.3	4.35		2	0.75	3.27
	4	17	7.4	5.71		2	0.75	4.28
	5	17	9	3.00		4	0.75	2.25
	6	16.8	7	6.00		4	0.75	4.50
	7	17.6	8.5	3.00		2	0.75	2.25
	8	17.6	8.6	4.00		2	0.75	3.00
	9	15.4	8.4	2.88			0.75	2.16
	10	15.6	8.9	4.00		2	0.75	3.00
	11	17	9.3	4.00		4	0.75	3.00
	12	15.6	9.3	3.00		2	0.75	2.25
	13	17	8	3.00		2	0.75	2.25
	14	16.9	7.6	4.00		2	0.75	3.00
	15	15.9	7.6	4.00		2	0.75	3.00
	16	24.4	8.4	3.00	82.99	2	0.75	2.25
	17	22.5	8.6	4.00		2	0.75	3.00
	18	22.8	9	4.00		2	0.75	3.00
	19	20	8.6	1.65		2	0.75	1.24
	20	17.7	9.3	3.00		4	0.75	2.25

MES	FECHA	T° máx.	T° mín.	Ev. (A) (mm/día)	HR %	V.V. (m/s)	Ktan	ETp (mm/día)
	21	20.4	6.7	4.00		2	0.75	3.00
	22	21.1	7	4.00		2	0.75	3.00
	23	20.5	7.4	4.00		2	0.75	3.00
	24	12.2	5.3	0.30		2	0.75	0.22
	25	17.5	8.4	3.00		2	0.75	2.25
	26	20.4	8	4.00		4	0.75	3.00
	27	20.6	9.4	6.00			0.75	4.50
	28	18.7	8	3.00		2	0.75	2.25
	29	20.3	7.7	2.72		2	0.75	2.04
	30	19.5	9.7	8.89			0.75	6.66
	31	19.9	6.3	6.30			0.75	8.47
Enero	1	18.6	1.1	1.18		4	0.75	0.88
	2	19.5	-0.6	2.61		2	0.75	1.96
	3	18	1	4.47			0.75	3.35
	4	19.9	-1.4	0.83		2	0.75	0.62
	5	19	-0.5	2.83			0.75	2.12
	6	20	-0.8	1.24		4	0.75	0.93
	7	18.4	0.4	4.00		2	0.75	3.00
	8	20	-1.8	1.71			0.75	1.28
	9	17.6	-0.4	4.00		2	0.75	3.00
	10	18	0.1	1.24			0.75	0.93
	11	20.3	1.5	0.53			0.75	0.40
	12	19.4	1.4	3.83		2	0.75	2.87
	13	19.9	0.2	0.53		4	0.75	0.40
	14	19.2	-1.8	3.00		4	0.75	2.25
	15	19.6	-2	3.00	87.01	2	0.75	2.25
	16	19.5	-0.4	3.00		4	0.75	2.25
	17	12.6	-1.5	0.71		2	0.75	0.53
	18	17.9	-1.6	1.41		2	0.75	1.06
	19	19	-1.5	7.65			0.75	5.74
	20	20.4	-0.5	3.00			0.75	2.25
	21	18.5	-1.9	3.00		2	0.75	2.25
	22	15.5	-2.5	2.47		2	0.75	1.86
	23	14.5	-2.5	2.47		2	0.75	1.76
	24	19.4	-2	3.94		2	0.75	2.96
	25	19.8	-1	2.00		2	0.75	1.50
	26	19.3	-2	1.89			0.75	1.41
	27	20.3	-0.5	1.59			0.75	1.19
	28	20.5	-0.8	3.00			0.75	2.25
	29	17.5	0.6	3.47			0.75	2.60
	30	20.8	1.7	2.18		4	0.75	1.63
	31	20.4	1.6	1.00		4	0.75	0.75

MES	FECHA	T° máx.	T° mín.	Ev. (A) (mm/día)	HR %	V.V. (m/s)	K _{tan}	ET _p (mm/día)
Febrero	1	20.4	-1	2.47			0.75	1.86
	2	19.9	1	0.36		2	0.75	0.27
	3	20.2	1.2	2.00		2	0.75	1.50
	4	15.7	0.5	8.65		2	0.75	6.49
	5	16.1	1	3.00		2	0.75	2.25
	6	16.5	0.9	0.59			0.75	0.45
	7	18.5	0.7	1.00			0.75	0.75
	8	15	-0.2	3.30			0.75	2.47
	9	15.5	-0.6	1.00		2	0.75	0.75
	10	20.3	-0.2	0.35		4	0.75	0.26
	11	19.4	0.5	6.00	88.78	4	0.75	4.50
	12	20	0.8	2.65		2	0.75	1.99
	13	17.6	1	1.53			0.75	1.15
	14	13.2	-0.3	0.59		2	0.75	0.45
	15	19	0.1	1.00		2	0.75	0.75
	16	19.3	0.8	3.00		2	0.75	2.25
	17	19.5	-1.5	0.77		4	0.75	0.57
	18	16.6	-1	0.12		2	0.75	0.09
	19	17.5	-1	6.12			0.75	4.59
	20	17	-1.1	2.00			0.75	1.50
	21	16.1	-1.4	2.00		2	0.75	1.50
	22	14.1	-1.6	1.36		2	0.75	1.02
	23	17.1	0.6	1.12			0.75	0.84
	24	20.4	-0.5	1.00			0.75	0.75
	25	19.5	-0.8	2.00		2	0.75	1.50
	26	16.4	0.6	1.59			0.75	1.20
	27	19.1	0.5	2.59			0.75	1.94
	28	17.5	1.5	1.00		2	0.75	0.75

Anexo 4. Resultados de la Evapotranspiración del cultivo ET_o

Meses/año	Número de días al mes	Etan (mm/mes)	Etan (mm/día)	Velocidad De Viento	Humedad Relativa (HR)	K _{tan}	ET _o (mm/día)
Octubre (2014)	31	149.73	4.83	3.16	81.83	0.75	3.62
Noviembre (2014)	30	135.03	4.36	3.13	74.45	0.75	3.27
Diciembre (2014)	31	123.33	3.98	2.67	82.99	0.75	2.98
Enero (2014)	31	77.07	2.49	2.53	87.01	0.75	1.86
Febrero (2014)	28	59.17	2.11	2.17	88.78	0.75	1.58

Anexo 5. Catálogos de equipos de riego

Lateral de Goteo PEUMO: especificaciones técnicas

Modelo	Diámetro interno (mm)	Espesor de pared (mm)	Presión operacional mínima (kg/cm ²)	Presión operacional máxima (kg/cm ²)
PEUMO 16	15.8	0.4	0.4	2.0
	15.2	0.6	0.4	2.5
	13.8	0.9	0.4	3.5
PEUMO 17	13.8	1.0	0.4	4.3
	15.0	0.9	0.4	3.5
PEUMO 20	15.0	1.0	0.4	4.3
	17.4	1.0	0.4	3.5
PEUMO 22	17.4	1.25	0.4	4.3
	21.0	1.0	0.4	3.5

La presión operacional mínima recomendada para un lavado eficiente de las laterales es de 0.8 kg/cm²

PEUMO 16 mm Longitud máxima del lateral (Diámetro interior 13.8 mm; espesor 1.0 mm; presión inicia 2.5 kg/cm²):

Caudal Nominal(l/h)	Espaciamiento entre goteros (m)						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00
1.2	114	162	206	247	285	339	421
1.6	94	134	170	205	237	281	350
2.1	79	112	143	171	198	236	293
3.5	56	80	102	123	142	169	211

PEUMO 17 mm Longitud máxima del lateral (Diámetro interior 15.0 mm; espesor 1.0 mm; presión inicia 2.5 kg/cm²):

Caudal Nominal(l/h)	Espaciamiento entre goteros (m)						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00
1.2	141	199	252	300	346	409	505
1.6	117	165	208	249	287	340	420
2.1	98	138	175	209	241	285	352
3.5	70	97	125	150	173	205	253

PEUMO 20 mm Longitud máxima del lateral (Diámetro interior 17.4 mm; espesor 1.0 mm; presión inicia 2.5 kg/cm²):

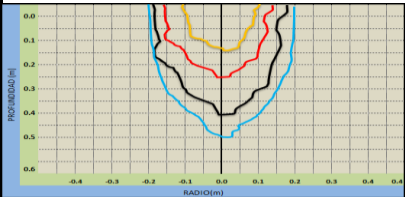
Caudal Nominal(l/h)	Espaciamiento entre goteros (m)						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00
1.2	194	271	340	403	461	544	667
1.6	161	224	282	335	383	452	555
2.1	134	188	236	280	322	379	466
3.5	96	134	169	201	231	272	335



Anexo 6. Estudio de la influencia del tipo de suelo

DTOS DE PRUEBA DE CAMPO q=1,6L/h			SISTEMA DE RIEGO		DATOS DEL SUELO			DATOS DE LA PARCELA		
Volumen agua (L)	Prof. Mojada (m)	Radio Mojado (m)	Método Goteo		Textura	Ar-Ao	(Ar cilla Ar en oso)	n° laterales	n° goteo/later	n° Got./lat.
1.0	0.11	0.09	Ef. [%] 95		CEi.(ds/m)	0.191	Kr = 1.17	16	63	62
2.0	0.21	0.13	C.U. [%] 93		CEe.(ds/m)	0.479	Ka = 1.00	ql	Vol. de la parcela	
2.9	0.38	0.18	qe [lt/h] 1.6	Se =	Hcc	31.6		99.2	1.587	m3/0,03ha
3.2	0.44	0.20	Sl = 0.6	0.40	HPm	17.2		Nº goteros/0.03ha 20000		
Re=(Rm*1,2)	0.22		l(días) = 2	a =	Prof. Rad.	0.44		Número de semillas/hectaria		
			P = 62%	20	Densidad aparente(g/cc)	1.28		32738	Plantas/ha	

Anexo 7. Elección del emisor

Elección del emisor y su desposicion				
1.- Area mojada por un emisor:(Ame)	Ae =	0.15	m ²	$Ame = \pi Rm^2$
2.- Separacion Maxima entre emisor:(Smax.)	Smáx.	0.39	0.40	$Smáx = Rm(2 - \frac{a}{100})$
Distancia de solape		0.04	m	$s = \frac{a*r}{100}$
tanteando % de solape	a(%) =	15%	%	$a = \left(\frac{2*Rm - Se}{Rm}\right) * 100$
Número de emisores/ m2:	e =	4	e/m2	$e > \frac{Sp*P}{100*Ae}$ 4.2
calculo de α	$\alpha =$	0.04	rad	$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{1}{(1 - \frac{a}{200})^2} - 1}$
Calculo de area mojada por un emisor (Ame) considerando los solapes	Ae =	0.15	m2	$Ae = (\pi - 2 * (\alpha - (1 - \frac{a}{200}) sen\alpha)) * Rm^2$
Porcentaje de suelo mojado	P =	61%	1	$P = \frac{100*e*Ae}{Sp}$
	Sl = 0.6	Se = 0.4	Rm = 0.22	$a = 15\%$
Tiempo de riego: (Tr)				$Tr = \frac{Nt*I}{e*Qa}$ (horas)

Anexo 8. Coeficientes del Gotero

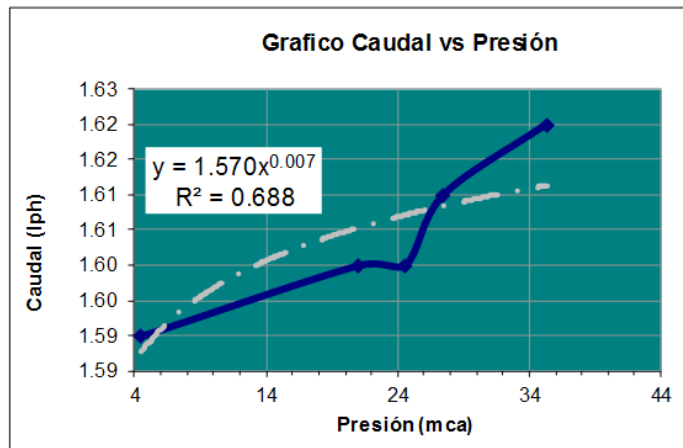
DATOS DEL EMISOR	
Presión (mca)	Caudal (lph)
4.5	1.59
21.07	1.60
24.6	1.60
27.51	1.61
35.37	1.62

Calculo de la Ecuacion del gotero

$$K = 1.570$$

$$X = 0.007$$

$$q = 1.570 * h^{0.007}$$



COEFICIENTES		
C.U. =	95%	%
C.V. =	3%	%
σ =	0.05	
CV =	0.03	

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_a)^2}{n}}$$

$$CV = \frac{\sigma}{q_a}$$

Sub Unidad de riego		
qa =	1.60	l.h-1
ha =	14.9	m.c.a.
qns =	1.59	l.h-1
hns =	4.4	m.c.a.

$$h_a = \left(\frac{q_a}{K} \right)^{\frac{1}{X}}$$

$$q_{ns} = \frac{C.U. \times q_a}{\left(1 - \frac{1.27 \times CV}{\sqrt{e}} \right)}$$

$$h_{ns} = \left(\frac{q_{ns}}{K} \right)^{\frac{1}{X}}$$

Gotero	q(l.h-1)	Gotero n°	q(l.h-1)
1	1.60	14	1.62
2	1.51	15	1.69
3	1.52	16	1.64
4		17	1.66
	1.58		
5	1.62	18	1.61
6	1.58	19	1.58
7	1.55	20	1.70
8		21	1.62
	1.61		
9		22	1.68
	1.65		
10		23	
	1.55		1.70
11		24	1.64
	1.60		
12	1.68	25	1.64
13	1.56		

Anexo 9. Cálculo Hidráulico en lateral de Riego

DATOS DE ENTRADA				
Caudal del emisor	qa	=	1.6	lh-1
Nº de emisores planta	e	=	1	
Separación entre emisores	Se	=	0.4	m
Separación entre laterales	Sl	=	0.6	m
Coef. de Uniformidad % (tabla)	CU	=	1.0	
Presión mínimo (PminGotero)	hns	=	4.4	mca
Presión media del gotero(PTrabajoGotero)	ha	=	15.0	mca
Long máxima del ramal	L	=	25	m
Desnivel del lateral	d	=	5.4	m
Diámetro exterior del PE	De	=	16	mm
Diámetro interior del PE	Di	=	13.8	mm
Rogusidad abs.	Ks	=	1.500E-03	mm
Rogusidad relativa.	er	=	1.08696E-07	mm
viscosidad cinemática agua	v	=	1.306E-06	m ² /s
Coef. de Uniformidad (tabla) =	CU	=	95	%
Coef. de Variación del emisor =	CV	=	3.3	%
PERDIDA DE CARGA PERMISIBLE EN UNA SUBUNIDAD (ΔH)				
ΔH sub unidad = ΔH = M (ha - h ns)		Diámetro constante M=4,3		
ΔH = 2,5(h _a - h _{ns})		2 diámetros M= 2,7		
ΔH = 26.52		3 diámetros M= 2,0		
M = 2.5 ←		Como en esta fase es difícil saber el número de diámetros se recomienda el valor 2,5		
CALCULO DE PRESION DE TRABAJO				
Una subunidad de riego está integrada por tubería terciaria y tubería lateral se distribuye la pérdida de carga permisible (Δh) entre la tubería lateral y terciaria.				
ΔH lateral = ΔH terciaria= 0,5 ΔH Sub und.		=	i = 0	
ΔH lateral, ΔH terciaria= 0,65, 0,35ΔH Sub und.		=	i > 0	
ΔH lateral, ΔH terciaria= 0,35, 0,65ΔH Sub und.		=	i < 0	ΔH terciaria = 17.24 ΔHlateral = 9.28
Comprobación la suma de Δhl y Δht debe ser igual a ΔH		Δhl + Δht = 26.52 m		
h máx fábrica	43.0	mca		
ha máx = ΔH Sub und. + ha	41.5	mca	ha máx < hmáx fábrica OK	
q _{máx} = kh _{máx} ^x	1.6	lh-1		

RESULTADOS DEL CALCULO HIDRAULICA DEL LATERAL DE RIEGO										
Góteros en los que su carcasa es la propia tubería (góteros interlínea)										
Tipo de Con	4	→	1 2 Sobrelínea 3 4 Interlínea	<table border="1"> <tr> <td>grande fe =</td> <td>0.1841</td> </tr> <tr> <td>estandar fe =</td> <td>0.1397</td> </tr> <tr> <td>pequeña fe =</td> <td>0.1008</td> </tr> </table>	grande fe =	0.1841	estandar fe =	0.1397	pequeña fe =	0.1008
grande fe =	0.1841									
estandar fe =	0.1397									
pequeña fe =	0.1008									
$\beta =$	1.75			0.23						
Longitud equivalente de la conexión de un			fe =	0.23						
DESCRIPCION	SIMBOLO	RESULTADOS	UND.	FORMULAS						
Nº de emisores por ramal	n =	62.0	l	$n = \frac{l}{s_e}$						
Caudal del lateral	ql =	99.2	l.h-l	$q_l = n * q$						
Caudal del lateral	ql =	0.028	lps	$q_{lps} = \frac{q_l}{3600}$						
Velocidad	V =	0.184	m.s-l	$v = \frac{Q}{A}$						
Nº de Reynolds	Re =	1946.69	Laminar	$Re = \frac{V * D}{\nu}$						
cálculo de f	f =	0.03		$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$						
Pérdida de carga unitaria	J =	0.004	m/m	$J = 6.37 * f * \left[\frac{q^2}{D^5} \right]$						
Coefficiente de Christiansen	F =	1.01		$F = 0.364 + \frac{1}{2n} + \frac{0.866}{6n^2}$						
Pérd. de carga con efecto de conex.	J' =	0.01	m/m	$J' = J \left[\frac{S_e + f_e}{S_e} \right]$						
Pendiente del terreno	i =	21.60	%							
Pérdidas de carga	hf =	0.08	m	$hf = J' * F * L$						
ELECCION DEL CASO		Caso B								
i = baja ramal pendiente		-0.216		$ i < J'$ CASO A						
Desnivel	d = i . L =	-5.38	(m)	$ i > J'$ CASO B						
Presión inicial o Carga de entrada al lateral	hm =	12.37	(m)	$hm = ha + 0.733hf + \frac{d}{2}$						
$ i > J'$		CASO B								
Carga máxima en el lateral hmax	hu =	17.67	(m)	$hu = hm + hf - d$						
Variación máxima de carga	'hu - hm < Δhl	5.30	CORRECTO	$hu - hm < \Delta hl$						

Anexo 10. Resumen del Cálculo Hidráulico de la Sub. Unidades de Riego

EMISOR #	CAUDAL (lt-h-1)	CAUDAL ACUM. (lt-h-1)	DIAMETRO INTERNO (mm.)	LONGITUD (metres)	LONGITUD ACUM. (metres)	VELOCID. (mps)	REYNOLDS Re	REYNOLDS Re	REGIMEN	f	f	J (m/m)	J' (m/m)	PERDIDA hf (metres)	DESIVEL (metres)	PRESION (mca)	OBSERVAC.
62	1.6	1.60	13.80	0.40	0.40	0.00	31	10^1.5	LAMINAR	0.00	0.34	2.04	0.00	0.000	-0.09	17.67	O.K.
61	1.6	3.20	13.80	0.40	0.80	0.01	63	10^1.8	LAMINAR	0.00	0.22	1.02	0.00	0.000	-0.09	17.58	O.K.
60	1.6	4.80	13.80	0.40	1.20	0.01	94	10^2.0	LAMINAR	0.00	0.17	0.68	0.00	0.000	-0.09	17.49	O.K.
59	1.6	6.40	13.80	0.40	1.60	0.01	126	10^2.1	LAMINAR	0.00	0.15	0.51	0.00	0.000	-0.09	17.41	O.K.
58	1.6	8.00	13.80	0.40	2.00	0.01	157	10^2.2	LAMINAR	0.00	0.13	0.41	0.00	0.000	-0.09	17.32	O.K.
57	1.6	9.60	13.80	0.40	2.40	0.02	188	10^2.3	LAMINAR	0.00	0.12	0.34	0.00	0.000	-0.09	17.24	O.K.
56	1.6	11.20	13.80	0.40	2.80	0.02	220	10^2.4	LAMINAR	0.00	0.12	0.29	0.00	0.000	-0.09	17.18	O.K.
55	1.6	12.80	13.80	0.40	3.20	0.02	251	10^2.5	LAMINAR	0.00	0.11	0.24	0.00	0.000	-0.09	17.11	O.K.
54	1.6	14.40	13.80	0.40	3.60	0.02	283	10^2.5	LAMINAR	0.00	0.10	0.23	0.00	0.000	-0.09	16.98	O.K.
53	1.6	16.00	13.80	0.40	4.00	0.03	314	10^2.5	LAMINAR	0.00	0.10	0.20	0.00	0.000	-0.09	16.89	O.K.
52	1.6	17.60	13.80	0.40	4.40	0.03	345	10^2.5	LAMINAR	0.00	0.09	0.19	0.00	0.000	-0.09	16.81	O.K.
51	1.6	19.20	13.80	0.40	4.80	0.04	377	10^2.6	LAMINAR	0.00	0.09	0.17	0.00	0.000	-0.09	16.72	O.K.
50	1.6	20.80	13.80	0.40	5.20	0.04	408	10^2.6	LAMINAR	0.00	0.09	0.16	0.00	0.000	-0.09	16.63	O.K.
49	1.6	22.40	13.80	0.40	5.60	0.04	440	10^2.6	LAMINAR	0.00	0.09	0.15	0.00	0.000	-0.09	16.55	O.K.
48	1.6	24.00	13.80	0.40	6.00	0.04	471	10^2.7	LAMINAR	0.00	0.08	0.14	0.00	0.000	-0.09	16.46	O.K.
47	1.6	25.60	13.80	0.40	6.40	0.05	502	10^2.7	LAMINAR	0.00	0.08	0.13	0.00	0.000	-0.09	16.38	O.K.
46	1.6	27.20	13.80	0.40	6.80	0.05	534	10^2.7	LAMINAR	0.00	0.08	0.12	0.00	0.000	-0.09	16.29	O.K.
45	1.6	28.80	13.80	0.40	7.20	0.05	565	10^2.8	LAMINAR	0.00	0.08	0.11	0.00	0.000	-0.09	16.20	O.K.
44	1.6	30.40	13.80	0.40	7.60	0.06	597	10^2.8	LAMINAR	0.00	0.07	0.10	0.00	0.000	-0.09	16.12	O.K.
43	1.6	32.00	13.80	0.40	8.00	0.06	628	10^2.8	LAMINAR	0.00	0.07	0.10	0.00	0.000	-0.09	16.03	O.K.
42	1.6	33.60	13.80	0.40	8.40	0.06	659	10^2.8	LAMINAR	0.00	0.07	0.10	0.00	0.000	-0.09	15.95	O.K.
41	1.6	35.20	13.80	0.40	8.80	0.07	691	10^2.8	LAMINAR	0.00	0.07	0.09	0.00	0.000	-0.09	15.86	O.K.
40	1.6	36.80	13.80	0.40	9.20	0.07	722	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.09	0.00	0.000	-0.09	15.78	O.K.
39	1.6	38.40	13.80	0.40	9.60	0.07	754	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.08	0.00	0.000	-0.09	15.69	O.K.
38	1.6	40.00	13.80	0.40	10.00	0.07	785	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.08	0.00	0.000	-0.09	15.61	O.K.
37	1.6	41.60	13.80	0.40	10.40	0.08	816	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.08	0.00	0.000	-0.09	15.52	O.K.
36	1.6	43.20	13.80	0.40	10.80	0.08	848	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.08	0.00	0.000	-0.09	15.44	O.K.
35	1.6	44.80	13.80	0.40	11.20	0.08	879	10^2.9	LAMINAR	0.00	0.07	0.07	0.00	0.000	-0.09	15.35	O.K.
34	1.6	46.40	13.80	0.40	11.60	0.09	911	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.07	0.00	0.000	-0.09	15.27	O.K.
33	1.6	48.00	13.80	0.40	12.00	0.09	942	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.07	0.00	0.000	-0.09	15.18	O.K.
32	1.6	49.60	13.80	0.40	12.40	0.09	973	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.07	0.00	0.000	-0.09	15.09	O.K.
31	1.6	51.20	13.80	0.40	12.80	0.10	1005	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	15.01	O.K.
30	1.6	52.80	13.80	0.40	13.20	0.10	1036	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	14.92	O.K.
29	1.6	54.40	13.80	0.40	13.60	0.10	1068	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	14.84	O.K.
28	1.6	56.00	13.80	0.40	14.00	0.10	1099	10^3.0	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	14.75	O.K.
27	1.6	57.60	13.80	0.40	14.40	0.11	1130	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	14.67	O.K.
26	1.6	59.20	13.80	0.40	14.80	0.11	1162	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.06	0.00	0.000	-0.09	14.58	O.K.
25	1.6	60.80	13.80	0.40	15.20	0.11	1193	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.50	O.K.
24	1.6	62.40	13.80	0.40	15.60	0.12	1225	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.42	O.K.
23	1.6	64.00	13.80	0.40	16.00	0.12	1256	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.33	O.K.
22	1.6	65.60	13.80	0.40	16.40	0.12	1287	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.25	O.K.
21	1.6	67.20	13.80	0.40	16.80	0.12	1319	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.16	O.K.
20	1.6	68.80	13.80	0.40	17.20	0.13	1350	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	14.08	O.K.
19	1.6	70.40	13.80	0.40	17.60	0.13	1382	10^3.1	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	13.99	O.K.
18	1.6	72.00	13.80	0.40	18.00	0.13	1413	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.06	0.05	0.00	0.000	-0.09	13.91	O.K.
17	1.6	73.60	13.80	0.40	18.40	0.14	1444	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.06	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.82	O.K.
16	1.6	75.20	13.80	0.40	18.80	0.14	1476	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.74	O.K.
15	1.6	76.80	13.80	0.40	19.20	0.14	1507	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.65	O.K.
14	1.6	78.40	13.80	0.40	19.60	0.15	1539	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.57	O.K.
13	1.6	80.00	13.80	0.40	20.00	0.15	1570	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.49	O.K.
12	1.6	81.60	13.80	0.40	20.40	0.15	1601	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.40	O.K.
11	1.6	83.20	13.80	0.40	20.80	0.15	1633	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.32	O.K.
10	1.6	84.80	13.80	0.40	21.20	0.16	1664	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.23	O.K.
9	1.6	86.40	13.80	0.40	21.60	0.16	1696	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.15	O.K.
8	1.6	88.00	13.80	0.40	22.00	0.16	1727	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	13.06	O.K.
7	1.6	89.60	13.80	0.40	22.40	0.17	1758	10^3.2	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	12.98	O.K.
6	1.6	91.20	13.80	0.40	22.80	0.17	1789	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	12.91	O.K.
5	1.6	92.80	13.80	0.40	23.20	0.17	1821	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.04	0.00	0.000	-0.09	12.84	O.K.
4	1.6	94.40	13.80	0.40	23.60	0.18	1852	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.03	0.00	0.000	-0.09	12.73	O.K.
3	1.6	96.00	13.80	0.40	24.00	0.18	1884	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.03	0.00	0.000	-0.09	12.64	O.K.
2	1.6	97.60	13.80	0.40	24.40	0.18	1915	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.03	0.00	0.000	-0.09	12.56	O.K.
1	1.6	99.20	13.80	0.50	24.90	0.18	1947	10^3.3	LAMINAR	0.00	0.05	0.03	0.00	0.000	-0.11	12.48	O.K.

4.85
SUMA = 0.083
PRESION INICIAL: 12.37
-5.38

Anexo 11. Cálculo Hidráulico en Porta lateral de Riego

Datos de entrada					
Sep. Laterales SI (m) =	0.6	Rogusidad abs. e =	0.0015	mm	
Distancia entre plantas (m)	0.4	Rogusidad relat er =	0.00000005		
Pres. inic. lateral hm = Ha=	12.37	Viscosidad v =	1.306E-06	m ² /s	
Longitud terciaria (m) =	10.8	β =	1.750		
Longitud del lateral (m) =	25				
Caudal emisor (l/h)	1.6				
fe =	0.23				
Nº de emisores /lateral	62				
CLASE 4 SIGNIFICA QUE SOPORTA PRESIONES HASTA DE 4 atmosferas = 40 mca					
RESULTADOS DEL CALCULO					
DESCRIPCION	SIMBOLO	RESULTADOS	UND.	FORMULAS	
Numero de laterales por tramo	(n) =	16	1	$n = \frac{L}{Se}$	
Caudal en la tubería terciaria	(Q) =	1587.2	l/h	$q_l = (n)(q)$	
Nº de Reynolds = 2000 - 10 ⁵	(Re) =	15351.0	Turbolento	$Re = \frac{V * D}{\nu}$	
Cálculo de f	f =	0.028		$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	
Coefficiente de christiansen	F =	1.01		$F = 0.364 + \frac{1}{2n} + \frac{0.866}{6n^2}$	
Pérdida de carga unitaria	(J) =	0.03	m	$J = 6.37 * f * \left[\frac{q^2}{D^5} \right]$	
Pérdidas por fricción en la tubería	(Hf) =	0.28	m	$Hf = J^1 * L * F$	
Carga a la entrada de la tub. terc.	(Hm) =	12.37	m	$Hm = Ha + 0.733 * hf - \frac{D}{2}$	
Carga al final de la tub. terciaria	(Hn) =	12.43	m	$Hn = Hm + Hf - D$	
Variación máxima de carga	Hm - Hn < Δht	0.06	CORRECTO	$Hm - Hn < \Delta ht$	

Anexo 12. Resumen del Cálculo Hidráulico en Porta Lateral de Riego

LATERAL	TERCIARIA	CAUDAL	CAUDAL	DIÁMETRO	LONGITUD	LONGITUD	VELOCID.	REYNOLDS	REYNOLDS	RÉGIMEN	f	J	PERDIDA	DESNIVEL	PRESIÓN	OBSERVAC.
#	(metros)	(q)	ACUM.	INTERNO	(metros)	ACUM.	(mps)	Re	Re			(m/m)	HF	(metros)	(mca)	
		(l.h-1)	(l.h-1)	(mm.)												
16	10.80	99.200	99.20	28.00	0.60	0.60	0.045	959	10 ^ 3.0	LAMINAR	0.07	0.00	0.000	-0.01	12.43	O.K.
15	10.80	99.200	198.40	28.00	0.60	1.20	0.090	1 919	10 ^ 3.3	LAMINAR	0.03	0.00	0.000	-0.01	12.42	O.K.
14	10.80	99.200	297.60	28.00	0.60	1.80	0.134	2 878	10 ^ 3.5	CRITICO	0.05	0.00	0.001	-0.01	12.41	O.K.
13	10.80	99.200	396.80	28.00	1.00	2.80	0.179	3 838	10 ^ 3.6	CRITICO	0.04	0.00	0.002	-0.02	12.40	O.K.
12	10.80	99.200	496.00	28.00	0.60	3.40	0.224	4 797	10 ^ 3.7	URBULENTO	0.04	0.00	0.002	-0.01	12.39	O.K.
11	10.80	99.200	595.20	28.00	0.60	4.00	0.269	5 757	10 ^ 3.8	URBULENTO	0.04	0.00	0.003	-0.01	12.38	O.K.
10	10.80	99.200	694.40	28.00	0.60	4.60	0.313	6 716	10 ^ 3.8	URBULENTO	0.03	0.01	0.004	-0.01	12.37	O.K.
9	10.80	99.200	793.60	28.00	1.00	5.60	0.358	7 676	10 ^ 3.9	URBULENTO	0.03	0.01	0.008	-0.02	12.37	O.K.
8	10.80	99.200	892.80	28.00	0.60	6.20	0.403	8 635	10 ^ 3.9	URBULENTO	0.03	0.01	0.006	-0.01	12.36	O.K.
7	10.80	99.200	992.00	28.00	0.60	6.80	0.448	9 594	10 ^ 4.0	URBULENTO	0.03	0.01	0.007	-0.01	12.36	O.K.
6	10.80	99.200	1,091.20	28.00	0.60	7.40	0.492	10 554	10 ^ 4.0	URBULENTO	0.03	0.01	0.008	-0.01	12.35	O.K.
5	10.80	99.200	1,190.40	28.00	1.00	8.40	0.537	11 513	10 ^ 4.1	URBULENTO	0.03	0.02	0.016	-0.02	12.35	O.K.
4	10.80	99.200	1,289.60	28.00	0.60	9.00	0.582	12 473	10 ^ 4.1	URBULENTO	0.03	0.02	0.011	-0.01	12.35	O.K.
3	10.80	99.200	1,388.80	28.00	0.60	9.60	0.627	13 432	10 ^ 4.1	URBULENTO	0.03	0.02	0.012	-0.01	12.35	O.K.
2	10.80	99.200	1,488.00	28.00	0.60	10.20	0.671	14 392	10 ^ 4.2	URBULENTO	0.03	0.02	0.014	-0.01	12.36	O.K.
1	10.80	99.200	1,587.20	28.00	0.60	10.80	0.716	15 351	10 ^ 4.2	URBULENTO	0.03	0.03	0.016	-0.01	12.36	O.K.
											SUMA	0.11	-0.2	12.37	PRESIÓN INICIAL	

Anexo 14. Pérdida de carga en cabezal, arco de riego y total (ADT)

ELEMENTO		Coefficiente de pérdida (k)	PERDIDA DE CARGA LOCAL $\Delta\rho=K \cdot (V^2/2g)$	CANTIDAD	Hf (m)
Arco de riego	Válvula de control	0.10	0.00	1.00	0.00
	Manómetro	1.00	0.02	1.00	0.02
	Codo 90°	0.20	0.00	4.00	0.02
Pérdida de carga Total					0.04
CABEZAL DE RIEGO	Filtro de malla	-	0.06	2.00	0.12
	Filtro de anilla	-	0.10	2.00	0.20
	Manómetro	1.00	0.02	2.00	0.04
	Válvula de aire	1.00	0.02	1.00	0.02
	Inyector venturi	-	7.24	1.00	7.24
	Tee	0.20	0.00	2.00	0.01
	Válvula de control	0.10	0.00	1.00	0.00
	Codo 90°	0.20	0.00	6.00	0.03
Pérdida de carga Total					7.66

CARGA HIDRÁULICA DE OPERACIÓN	=	12.37	m
LATERAL	=	0.08	m
TERCIARIA	=	0.11	m
ARCO	=	0.04	m
CABEZAL	=	7.66	m
TUB. SEG.	=	0.12	m
DESNIVEL	=	0.65	m
ALTURA DINÁMICA TOTAL		ADT=	21.04 m

Anexo 15. Cálculo hidráulico de la red secundario y principal

Tramo	Longitud Tramo (L) (m)	Caudal / tramo (q)		Diámetro Interno (Di) (mm)	Velocidad (V) (m/s)	Reynolds Re	Régimen Re	f	Pérdida Unitaria (J) (mca / m)	Pérdidas Principales Tramo (Hf) (mca)	Pérdidas Secundaria (Hfs) (mca)	Pérdidas Totales Tramo (HFt) (mca)	Pérdidas Totales Acumulada (mca)	Cota		Desnivel Tramo (ΔZ) (m)	Presión Dinámica (Pd) (m.c.a)	Presión Necesaria (Pn) (m.c.a)
		(M3/Hr)	(LPS)											Inico (m.c.a)	Final (m.c.a)			
Capt. Reserv.	645.00	0.72	0.20	29.40	0.29	6632	TURBULENTO	0.03	0.01	3.38	2.71	6.09	6.09	3537.12	3512.88	-24.24	18.14	
Reserv-CRP 1	254.50	1.59	0.44	29.40	0.65	14620	TURBULENTO	0.03	0.02	5.23	4.18	9.41	15.50	3512.88	3492.31	-20.57	11.17	
CRP 1-CRP 2	85.00	1.59	0.44	29.40	0.65	14620	TURBULENTO	0.03	0.02	1.75	1.40	3.14	18.64	3492.31	3477.73	-14.58	11.44	
CRP2-Cabezal	136.50	1.59	0.44	29.40	0.65	14620	TURBULENTO	0.03	0.02	2.80	2.24	5.05	23.68	3477.73	3440.92	-36.82	31.77	22.66
Cabezal												7.66	31.35				24.11	15.00
Cabezal-Arco de riego	5.00	1.59	0.44	29.40	0.65	14620	TURBULENTO	0.03	0.021	0.10	0.02	0.12	31.46	3440.92	3440.26	-0.65	24.64	12.49
Arco de riego												0.04					24.60	12.37
												HFt	31.51	ΔZt	-96.20			

Anexo 16. Datos Promedios de secciones transversales del bulbo húmedo correspondiente a Q=1.6 l.s-1 en la parcela experimental.

Tiempo (hora)	4T		1T		2T		3T	
	Profundidad (m.)	Radio (m.)	Profundidad (m.)	Radio (m.)	Profundidad (m.)	Radio (m.)	Profundidad (m.)	Radio (m.)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07
0.6	0.14	0.11	0.14	0.10	0.14	0.12	0.15	0.12
1.4	0.24	0.14	0.24	0.14	0.25	0.14	0.25	0.15
1.6	0.32	0.15	0.31	0.16	0.33	0.17		
1.8	0.38	0.17	0.38	0.18				
2.00	0.44	0.19						
Afloramiento(m)			0.60		0.64		0.57	

Anexo 17. Datos tomados del campo del experimento.

H (emisor)	15	K(emisor)	1.57	Presion(Bar)	1.35	X (emisor)	0.007	q (emisor)	1.60
DATOS DE CAMPO									
Primer día	Laterales	1T(6cm.)		4T (sup.)		3T (18cm)		2T (12cm)	
		VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)
	primero	6.8	15.99	6.9	16.02	7.9	16.4	6.6	15.2
	1/3.	7.1	16.26	6.9	16.03	9.4	16.36	6.8	15.99
	2/3.	6.6	15.2	7	16.1	7.1	16.26	6.9	16.02
ultimo	7.1	16.26	6.8	15.99	6.8	15.99	6.1	13.99	
H (emisor)	15	K(emisor)	1.57	Presion(Bar)	1.28	X (emisor)	0.007	q (emisor)	1.60
A 60 días de riego	Laterales	1T(6cm.)		4T (sup.)		3T (18cm)		2T (12cm)	
		VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)
	primero	7.2	16.32	7.2	16.1	7.8	17.32	7.3	15.99
	1/3.	7.2	16.36	7.3	16.11	8.9	16.34	6.6	16.48
	2/3.	6.9	16.02	6.9	16.03	6.6	15.2	6.8	16
ultimo	6.8	15.98	6.8	15.98	7.6	16.4	7.1	16.26	
H (emisor)	15	K(emisor)	1.57	Presion(Bar)	1.29	X (emisor)	0.007	q (emisor)	1.60
A 120 días de riego	Laterales	1T(6cm.)		4T (sup.)		3T (18cm)		2T (12cm)	
		VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)
	primero	6.8	16	7.6	16.8	6.8	15.99	7.2	16.36
	1/3.	6.9	16.09	6.9	16.02	7.6	16.8	7.8	16.4
	2/3.	8.4	16.26	6.6	15.2	6.5	15.02	6.8	15.99
ultimo	6.7	15.68	7.4	16.48	7.5	16.36	6.9	16.02	
H (emisor)	15	K(emisor)	1.57	Presion(Bar)	1.31	X (emisor)	0.007	q (emisor)	1.60
A 240 días de riego	Laterales	1T(6cm.)		4T (sup.)		3T (18cm)		2T (12cm)	
		VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)	VOL.(ml)	T(sg.)
	primero	7.5	16.61	6.5	16.33	7.1	16.26	7.8	17.32
	1/3.	8.5	17.32	7.1	16.26	7.4	16.48	6.5	15.03
	2/3.	7	16.1	6.8	15.99	7.8	16.35	7.4	16.48
ultimo	7.5	16.6	7	16.1	7.3	16.4	7.2	16.36	

Anexo 18. Programación de riego

PROGRAMACIÓN DE RIEGO 1T(06cm.)																
Fechas de riego	Días después de siembra	Precip. efectiva	Evap. de referencia	Coefficiente del cultivo	Evap. del cultivo ajustado	Lámina requerida	Volumen requerido	Volumen requerido parcela	Volumen por emisor	Decisión de riego	Tiempo riego	Riego		Vol. aplicado	Eficiencia de aplicación	
Fecha	DDS	Pe	Eto	Kc	EtrI=Nn	Nt	Vol.	Vol.	Ve		T	Inicio	fin	Vol.	Ef	
Días	Días	(mm.día ⁻¹)	(mm.día ⁻¹)		(mm.día ⁻¹)	(mm)	(m3.ha ⁻¹)	(m3.0.04ha ⁻¹)	(lts.emisor ⁻¹)		(horas)	(min)	Hora	Hora	(lts.emisor ⁻¹)	%
26-oct	1	0.00	3.58	0.50	1.56	12.97	129.71	3.22	3.24	REGAR	2.00	0	8.35am	10.35am	3.22	86
30-oct	5	0.00	3.44	0.53	1.52	10.54	105.38	2.61	2.63	REGAR	1.00	39	8.40am	10.20am	2.63	99
04-nov	10	0.00	3.45	0.55	1.60	11.12	111.25	2.76	2.78	REGAR	1.00	46	7.30am	9.16am	2.81	98
09-nov	15	0.80	3.15	0.58	1.53	10.64	106.36	2.64	2.66	REGAR	1.00	42	3.00pm	4.42am	2.69	98
13-nov	19	0.79	3.44	0.60	1.75	9.70	96.95	2.40	2.42	REGAR	1.00	33	3.00pm	4.33am	2.47	97
18-nov	24	0.00	2.97	0.62	1.56	10.82	108.16	2.68	2.70	REGAR	1.00	43	4.00pm	5.43pm	2.73	98
21-nov	27	0.00	4.50	0.64	2.44	10.18	101.78	2.52	2.54	REGAR	1.00	35	7.35am	9.10am	2.52	100
25-nov	31	0.00	3.38	0.66	1.89	10.47	104.68	2.60	2.62	REGAR	1.00	41	3.00pm	4.41pm	2.66	98
29-nov	35	0.00	3.17	0.68	1.82	10.13	101.26	2.51	2.53	REGAR	1.00	37	3.37pm	5.14pm	2.56	98
03-dic	39	2.33	3.19	0.70	1.89	10.49	104.91	2.60	2.62	REGAR	1.00	40	3.10pm	4.50pm	2.65	98
07-dic	43	0.00	3.57	0.72	2.19	12.13	121.33	2.78	2.80	REGAR	1.00	45	3.00pm	4.45pm	2.78	100
12-dic	48	0.00	2.68	0.74	1.69	11.75	117.50	2.78	2.80	REGAR	1.00	45	3.00pm	4.45pm	2.78	100
17-dic	53	0.00	2.33	0.77	1.52	10.55	105.45	2.62	2.64	REGAR	1.00	41	7.30am	9.11am	2.66	98
02-ene	69	0.61	3.05	0.91	0.50	11.11	111.13	2.76	2.78	REGAR	1.00	45	3.10pm	4.56pm	2.79	99
21-ene	88	0.00	2.32	1.13	0.47	10.41	104.08	2.58	2.60	REGAR	1.00	39	3.25pm	5.04pm	2.63	98

PROGRAMACIÓN DE RIEGO 2T(12cm.)																
Fechas de riego	Días después de siembra	Precip. efectiva	Evap. de referencia	Coefficiente del cultivo	Evap. del cultivo ajustado	Lámina requerida	Volumen requerido	Volumen requerido parcela	Volumen por emisor	Decisión de riego	Tiempo riego	Riego		Vol. aplicado	Eficiencia de aplicación	
Fecha	DDS	Pe	Eto	Kc	Etrl=Nn	Nt	Vol.	Vol.	Ve		T	Inicio	fin	Vol.	Ef	
Días	Días	(mm.día ⁻¹)	(mm.día ⁻¹)		(mm.día ⁻¹)	(mm)	(m3.ha ⁻¹)	(m3.0.04ha ⁻¹)	(lts.emisor ⁻¹)		(horas)	(min)	Hora	Hora	(lts.emisor ⁻¹)	%
26-oct	1	0.00	3.58	0.50	1.56	12.97	129.71	3.22	3.24	REGAR	2.00	0	8.35am	10.35am	3.22	77
30-oct	5	0.00	3.44	0.53	1.52	10.54	105.38	2.61	2.63	REGAR	1.00	39	8.40am	10.20am	2.63	94
04-nov	10	0.00	3.45	0.55	1.60	11.12	111.25	2.76	2.78	REGAR	1.00	46	7.30am	9.16am	2.81	88
09-nov	15	0.80	3.15	0.58	1.53	10.64	106.36	2.64	2.66	REGAR	1.00	42	3.00pm	4.42am	2.69	92
13-nov	19	0.79	3.44	0.60	1.75	9.70	96.95	2.40	2.42	REGAR	1.00	33	3.00pm	4.33am	2.47	100
18-nov	24	0.00	2.97	0.62	1.56	10.82	108.16	2.68	2.70	REGAR	1.00	43	4.00pm	5.43pm	2.73	91
21-nov	27	0.00	4.50	0.64	2.44	10.18	101.78	2.52	2.54	REGAR	1.00	35	7.35am	9.10am	2.52	98
25-nov	31	0.00	3.38	0.66	1.89	10.47	104.68	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.00pm	4.34pm	2.48	100
29-nov	35	0.00	3.17	0.68	1.82	10.13	101.26	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.37pm	5.11pm	2.48	100
03-dic	39	2.33	3.19	0.70	1.89	10.49	104.91	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.10pm	4.44pm	2.48	100
07-dic	43	0.00	3.57	0.72	2.19	12.13	121.33	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.00pm	4.34pm	2.48	100
12-dic	48	0.00	2.68	0.74	1.69	11.75	117.50	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.00pm	4.34pm	2.48	100
17-dic	53	0.00	2.33	0.77	1.52	10.55	105.45	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	7.30am	9.04am	2.48	100
02-ene	69	0.61	3.05	0.91	0.50	11.11	111.13	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.10pm	4.44pm	2.48	100
21-ene	88	0.00	2.32	1.13	0.47	10.41	104.08	2.48	2.50	REGAR	1.00	34	3.25pm	4.59pm	2.48	100

PROGRAMACIÓN DE RIEGO 3T(18cm.)																
Fechas de riego	Días después de siembra	Precip. efectiva	Evap. de referencia	Coeficiente del cultivo	Evap. del cultivo ajustado	Lámina requerida	Volumen requerido	Volumen requerido parcela	Volumen por emisor	Decisión de riego	Tiempo riego	Riego		Vol. aplicado	Eficiencia de aplicación	
Fecha	DDS	Pe	Eto	Kc	Etrl=Nn	Nt	Vol.	Vol.	Ve	T	Inicio	fin	Vol.	Ef		
Días	Días	(mm.día ⁻¹)	(mm.día ⁻¹)		(mm.día ⁻¹)	(mm)	(m3.ha ⁻¹)	(m3.0.04ha ⁻¹)	(lts.emisor ⁻¹)	(horas)	(min)	Hora	Hora	(lts.emisor ⁻¹)	%	
26-oct	1	0.00	3.58	0.50	1.56	12.97	129.71	3.22	3.24	REGAR	2.00	0	8.35am	10.35am	3.22	68
30-oct	5	0.00	3.44	0.53	1.52	10.54	105.38	2.61	2.63	REGAR	1.00	39	8.40am	10.20am	2.63	83
04-nov	10	0.00	3.45	0.55	1.60	11.12	111.25	2.76	2.78	REGAR	1.00	46	7.30am	9.16am	2.81	78
09-nov	15	0.80	3.15	0.58	1.53	10.64	106.36	2.64	2.66	REGAR	1.00	42	3.00pm	4.42am	2.69	81
13-nov	19	0.79	3.44	0.60	1.75	9.70	96.95	2.40	2.42	REGAR	1.00	33	3.00pm	4.33am	2.47	88
18-nov	24	0.00	2.97	0.62	1.56	10.82	108.16	2.68	2.70	REGAR	1.00	43	4.00pm	5.43pm	2.73	80
21-nov	27	0.00	4.50	0.64	2.44	10.18	101.78	2.52	2.54	REGAR	1.00	35	7.35am	9.10am	2.52	100
25-nov	31	0.00	3.38	0.66	1.89	10.47	104.68	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.00pm	4.23pm	2.18	100
29-nov	35	0.00	3.17	0.68	1.82	10.13	101.26	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.37pm	5.00pm	2.18	100
03-dic	39	2.33	3.19	0.70	1.89	10.49	104.91	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.10pm	4.33pm	2.18	100
07-dic	43	0.00	3.57	0.72	2.19	12.13	121.33	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.00pm	4.23pm	2.18	100
12-dic	48	0.00	2.68	0.74	1.69	11.75	117.50	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.00pm	4.23pm	2.18	100
17-dic	53	0.00	2.33	0.77	1.52	10.55	105.45	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	7.30am	8.53am	2.18	100
02-ene	69	0.61	3.05	0.91	0.50	11.11	111.13	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.10pm	4.33pm	2.18	100
21-ene	88	0.00	2.32	1.13	0.47	10.41	104.08	2.18	2.20	REGAR	1.00	23	3.25pm	4.48pm	2.18	100

PROGRAMACIÓN DE RIEGO 4T(sup.)																
Fechas de riego	Días después de siembra	Precip. efectiva	Evap. de referencia	Coficiente del cultivo	Evap. del cultivo ajustado	Lámina requerida	Volumen requerido	Volumen requerido parcela	Volumen por emisor	Decisión de riego	Tiempo riego		Riego		Vol. Aplicado	Eficiencia de aplicación
Fecha	DDS	Pe	Eto	Kc	Etrl=Nn	Nt	Vol.	Vol.	Ve		T		Inicio	fin	Ve	Ef
Días	Días	(mm.día ⁻¹)	(mm.día ⁻¹)		(mm.día ⁻¹)	(mm)	(m3.ha ⁻¹)	(m3.0.04ha ⁻¹)	(lts.emisor ⁻¹)		(horas)	(min)	Hora	Hora	(lts.emisor ⁻¹)	%
26-oct	1	0.00	3.58	0.50	1.56	12.97	129.71	3.22	3.24	REGAR	2.00	0	8.35am	10.35am	3.22	99
30-oct	5	0.38	3.44	0.53	1.52	10.54	105.38	2.61	2.63	REGAR	1.00	39	8.40am	10.20am	2.63	99
04-nov	10	0.00	3.45	0.55	1.60	11.12	111.25	2.76	2.78	REGAR	1.00	46	7.30am	9.16am	2.81	98
09-nov	15	0.00	3.15	0.58	1.53	10.64	106.36	2.64	2.66	REGAR	1.00	42	3.00pm	4.42am	2.69	98
13-nov	19	0.59	3.44	0.60	1.75	9.70	96.95	2.40	2.42	REGAR	1.00	33	3.00pm	4.33am	2.47	97
18-nov	24	0.16	2.97	0.62	1.56	10.82	108.16	2.68	2.70	REGAR	1.00	43	4.00pm	5.43pm	2.73	98
21-nov	27	0.00	4.50	0.64	2.44	10.18	101.78	2.52	2.54	REGAR	1.00	35	7.35am	9.10am	2.52	100
25-nov	31	0.00	3.38	0.66	1.89	10.47	104.68	2.60	2.62	REGAR	1.00	41	3.00pm	4.41pm	2.66	98
29-nov	35	0.22	3.17	0.68	1.82	10.13	101.26	2.51	2.53	REGAR	1.00	37	3.37pm	5.14pm	2.56	98
03-dic	39	0.00	3.19	0.70	1.89	10.49	104.91	2.60	2.62	REGAR	1.00	40	3.10pm	4.50pm	2.65	98
07-dic	43	2.23	3.57	0.72	2.19	12.13	121.33	3.01	3.03	REGAR	1.00	56	3.00pm	4.56pm	3.06	98
12-dic	48	0.37	2.68	0.74	1.69	11.75	117.50	2.91	2.94	REGAR	1.00	52	3.00pm	4.52pm	2.96	98
17-dic	53	0.30	2.33	0.77	1.52	10.55	105.45	2.62	2.64	REGAR	1.00	41	7.30am	9.11am	2.66	98
02-ene	69	1.88	3.05	0.91	0.50	11.11	111.13	2.76	2.78	REGAR	1.00	45	3.10pm	4.56pm	2.79	99
21-ene	88	3.61	2.32	1.13	0.47	10.41	104.08	2.58	2.60	REGAR	1.00	39	3.25pm	5.04pm	2.63	98

Anexo 19. Fotografías del proceso de instalación y evaluación del sistema de riego por goteo subsuperficial, en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). Chullumpampa 2014.



1. Preparación de terreno.



2. Instalación de los laterales de riego.



3. Instalación del arco de riego y los bigotes.



4. Instalación del tanque meteorológico en el campo.



5. Muestreo del gasto de los emisores.



6. Muestreo del gasto de los emisores.



7. Medición de altura de la planta y cobertura vegetal.



8. Registro de las presiones en entrada de los laterales muestreados.



9. Evaluación de la formación del bulbo en $4T_{sup}$.



10. Evaluación de la formación del bulbo en $1T_{0.6cm}$.



11. Evaluación del diámetro y altura de bulbo en $4T_{sup}$



12. Evaluación de la formación del bulbo en $2T_{12cm}$.



13. Evaluación de la formación del bulbo en 3T_{18cm}.



14. Formación del bulbo de los cuatro tratamientos.



15. Afloramiento del bulbo después del riego.



16. Influencia de la profundidad de riego en el crecimiento en los cuatro tratamientos.



17. Control fitosanitario.



18. Parcela demostrativa en producción de arveja.



19. Cosecha de la arveja en verde.



20. Evaluación del peso de la arveja.