

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE
APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI –
SOCOS - AYACUCHO”**

**TÉISIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

Bach. DE LA CRUZ JANAMPA, MARILUNA

AYACUCHO - PERÚ

2015

"EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI - SOCOS - AYACUCHO"

Recomendado : 06 de noviembre de 2015

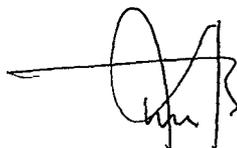
Aprobado : 26 de noviembre de 2015



M.Sc. SANDRA DEL AGUILA RIOS
Presidente del Jurado



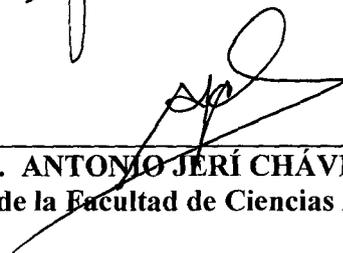
Dr. JORGE EDMUNDO PASTOR WATANABE
Miembro del Jurado -



Ing. LEONIDAS ALEJANDRO ARIAS BALTAZAR
Miembro del Jurado



Ing. EDUARDO PACORI QUISPE
Miembro del Jurado



Dr. ANTONIO JERÍ CHÁVEZ
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RELACION DE FIGURAS	iii
LISTA DE CUADROS	iv
RESUMEN	v

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Definición del problema	3

CAPITULO II

REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Evaluación ex – post	5
2.2. El riego	5
a. Tipos de riego ventajas y desventajas	6
b. Aspersores	8
Clasificación de aspersores	9
2.3. Evaluación de Riego	10
2.4. Evaluación y mejora del sistema de riego	11
2.5. Sistema de riego por aspersion	12
2.6. Diseño de sistemas de riego por aspersion	12
2.7. Diseño agronómico e hidráulico en riego presurizado	13
2.6.1. Diseño agronómico en aspersion	13
2.6.2. Diseño hidráulico en aspersion	23

2.8.	Evaluación de la uniformidad de riego por aspersión	28
2.9.	Coeficiente de uniformidad	28
2.10.	Uniformidad de distribución	31
2.11.	Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre de viento	34
2.12.	Eficiencia de aplicación optima del sistema de riego	37
2.13.	Eficiencia en el riego por aspersión	37
2.14.	Eficiencia de descarga	38
2.15.	Eficiencia de requerimiento	39
2.16.	Pérdidas de agua	40
2.17.	Factores para el uso eficiente del agua de riego	42
2.18.	Programación de riegos	43
2.19.	Condiciones climáticas y técnicas	45
2.20.	Términos importantes	46
	a. Régimen de riego	46
	b. Numero de riego	46
	c. Intervalo de riego	46
	d. Eficiencia de aplicación	47
	e. Norma de riego parcial neta	47
	f. Norma parcial bruta	47
	g. Intensidad de aplicación	47
	h. Radio de alcance	47
	i. Lluvia del aspersor	48
	j. Pluviometría del aspersor	48
	k. Aspersores y boquillas	48
	l. Calidad de agua para riego	48
	Clasificación de agua con fines de riego	51
	Tolerancia relativa a la calidad de agua de riego	52

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1.	Ubicación y localización del módulo de riego en investigación	53
	3.1.1. Ubicación política	53

3.1.2. Ubicación geográfica	53
3.2. Acceso	55
3.3. Información del área de investigación	55
3.4. Información de las parcelas	55
3.5. Equipos y materiales de investigación	56
3.5.2 Relación de equipos y materiales utilizados	56
3.5.2 Disponibilidad del personal de apoyo	56
3.6. Planeamiento del módulo de riego instalado	57
3.6.1 Descripción de las componentes del módulo de riego	58
3.7. Procedimiento y metodología	60
3.7.1 Verificación del funcionamiento del módulo de riego	61
3.7.2 Verificación de los diseños agronómicos e hidráulicos	61
3.8. Metodología de investigación	68
3.8.1 Evaluación de la uniformidad y eficiencia de aplicación	68
3.8.2 Elección de la parcela a evaluar	68
3.8.3 Características de la evaluación	68
3.9. Ejecución de las pruebas en el área de riego seleccionado	72
3.10. Simulación hidráulica con WATERCAD 2012	76

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Sistema de evaluación CU y determinación de eficiencia de aplicación	77
i. Coeficiente de uniformidad, Método de Cristianen	79
4.2. Verificación técnica de los diseños agronómicos e hidráulicos	83
4.2.1 Verificación del diseño agronómico	83
4.2.2 Verificación del diseño hidráulico	88
4.3. Programación de riego para el módulo de riego	90

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	94
5.2. Recomendaciones	96

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

6.1 BIBLIOGRAFIA	98
------------------	----

CAPITULO VII

ANEXO

ANEXOS	100
---------------	------------

Anexo A: Ensayos realizados para la determinación de CU

Anexo B: Cálculos de parámetros de diseño agronómicos

Anexo C: Lamina y velocidad de infiltración

Anexo D: Cálculos de diseño hidráulicos

Anexo E: Diseño de lateral de riego y aspersores

Anexo F: Cálculos de demanda de agua

Anexo G: Precipitación efectiva

Anexo H: Curvas Kc de cultivos evaluados

Anexo I: Cámara de carga

Anexo J: Programación de riego

Anexo K: Datos climatológicos del área de estudio

Anexo L: Prueba de laboratorio de mecánica de suelos

Anexo M: Tablas

Anexo N: Panel fotográfico

Anexo O: Planos

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”, consistió en evaluar el coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión, en dos parcelas representativas del sector I de la comunidad de Pacuri.

Para la obtención de los valores de coeficiente de uniformidad se realizó a través de pruebas de pluviometría y el método de Christiansen, y para la obtención de los valores de eficiencia de aplicación en el perfil del suelo se utilizó el método volumétrico. Cada una de ellas independientemente mediante pruebas de campo como, pruebas de infiltración, pluviometría, coeficiente de uniformidad, y pruebas de laboratorio como análisis de suelo, con la finalidad de verificar que el sistema de riego instalado cumpla con los objetivos según la teoría de alcanzar una eficiencia de riego aceptable. En el diseño agronómico se calculó la demanda de agua, la frecuencia de riego, la lámina de agua a aplicarse en cada riego. De igual manera se realizó el cálculo del diseño hidráulico para lo cual se empleó formulas empíricas, entre ellas la de Hazen y Williams, que nos permitieron el cálculo de los diámetros de las tuberías a emplearse, las velocidades, las presiones de trabajo, y con ello recomendar la tubería adecuada.

Finalmente se plantea una programación de riego de acuerdo a las necesidades hídricas de diversos cultivos que esta comunidad produce en especial se tomó los datos en parcelas donde se tiene cultivos característicos de la zona.

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro N° 01	Capacidad de retención de agua de diferentes tipos de Suelos.
Cuadro N° 02	Valores de la uniformidad de instalación
Cuadro N° 03	Resultado de prueba de C.U
Cuadro N° 04	Evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves en función a la Humedad Relativa y Temperatura
Cuadro N° 05	Demanda de agua con precipitación efectiva al 75%
Cuadro N° 06	Coeficiente de uso consuntivo para la célula de cultivo (Kc)
Cuadro N° 07	Cálculos de demanda hídrica del proyecto
Cuadro N° 08	Cálculos de parámetros de riego
Cuadro N° 09	Resultados de análisis de suelo
Cuadro N° 10	Resultados de velocidad de infiltración
Cuadro N° 11	Velocidad de infiltración de acuerdo a la clase textural
Cuadro N° 12	Comparación precipitación de aspensor y velocidad de Infiltración.
Cuadro N° 13	Fricción en las tuberías del sistema
Cuadro N° 14	Programación de riego
Cuadro N° 15	Programación de riego según el turno de riego

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura N° 01	Representación de un aspersor
Figura N° 02	Disposición de los vasos pluviométricos en un solo ramal.
Figura N° 03	Disposición de los vasos pluviométricos en dos ramales.
Figura N° 04	Zonas específicas a evaluar, toma de presiones en todos los aspersores.
Figura N° 05	Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego
Figura N° 06	Diagrama de USDA para clasificar el agua con fines de riego
Figura N° 07	Tolerancia relativa a la salinidad del cultivo
Figura N° 08	Ubicación geográfica del distrito de Socos
Figura N° 09	Curva de coeficiente de cultivo de alfalfa
Figura N° 10	Curva de coeficiente de cultivo de arveja
Figura N° 11	Lámina infiltrada acumulada
Figura N° 12	Velocidad de infiltración instantánea
Figura N° 13	Variación de la Lámina Infiltrada Acumulada y de la Velocidad de Infiltración Acumulada
Figura N° 14	Representación de los pluviómetros
Figura N° 15	Demanda de agua del proyecto

DEDICATORIA

A mi hijo **NICOLÁS THIAGO**, por ser mi orgullo y mi gran motivación, quien libras mi mente de todas las adversidades que se presentan, por ser mi impulso de cada día superarme en la carrera para poder ofrecerle siempre lo mejor, No es fácil eso lo sé, pero tal vez si no te tuviera, no hubiera logrado tantas grandes cosas, hare lo posible para ser un gran ejemplo para ti.

A mi amada madre **JULIA** por ser el pilar de mi vida, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi proyecto estudiantil y de vida, que junto a mi papa **CARLOS** me apoyaron para poder llegar a estas instancias de mis estudios, quienes con sus palabras de aliento no me ha dejado decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla mis ideales.

A mis hermanas **Zinthyá, Roció, Yulissa y Carlos E.**, por estar siempre presente, por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y profesional.

AGRADECIMIENTO

A **Dios** y a la **Virgencita de Fátima**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio

Agradezco a la **Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola**, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haber hecho de mí un profesional capaz de afrontar las adversidades de la vida académica y laboral.

Al **Gobierno Regional de Ayacucho** por brindarme el apoyo en mi vida laboral para que este trabajo se llegue a culminar después de tantas adversidades. En especial al **Ing. Harold F. Gálvez Ugarte** por impulsarme en cumplir mis metas profesionales y ser un ejemplo a seguir.

A mi asesor de tesis el **Ing. Leónidas Arias Baltazar**, por su apoyo académico y a mis profesores de mi alma mater **Ing. Ms. Sandra Del Águila**, **Ing. Ms Jorge Edmundo Pastor Watanabe**, **Ing. Eduardo Pacori Quispe** por su apoyo en el presente trabajo de investigación.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

FAO(2015), El agua es la sustancia que más abunda en la tierra y es la única que se encuentra en la atmosfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua existente en la tierra. Se trata de agua salada, que solo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda esta disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales.

Las técnicas de evaluación de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios en infraestructura, operación y manejo para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede lograr ahorrar agua, mano de obra, suelo, y así mejora en los rendimientos de los cultivos.

Debido a las diversas variables que intervienen en la evaluación del riego por aspersión (caudal, presión, tiempo de riego, etc.), y el hecho de que todas están directa o indirectamente relacionados, el problema de la correcta utilización del agua no tiene siempre una solución evidente ni inmediata.

A veces las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un sistema de riego por aspersión puede mejorarse variando la presión de trabajo y

número de boquillas, altura de los emisores, tiempo de riego o simplemente cambiando el material desgastado.

En la comunidad de PACURI, distrito de Socos, provincia de Huamanga, se tiene instalado un sistema de riego por aspersión con una extensión de 31.10 has. Este proyecto fue financiado por el Fondo de Promoción a la Inversión Pública Regional y Local (FONIPREL) en el año 2008.

Para realizar los ensayos de evaluación se seleccionó el sistema de riego por aspersión de la comunidad de Pacuri, como materia de investigación y que a diferencia de muchas evaluaciones realizadas en otras regiones como la costa, en que se presentan pendientes mínimas, en este caso se evaluará y determinaron los efectos que producen las zonas con pendientes pronunciadas, en la distribución del agua aplicada. Posteriormente se determinaran las condiciones óptimas de operación del sistema, con la ayuda del software WATERCAD 2012 Programa de Gestión y Simulación de Redes de Distribución a la Demanda y Riego por Aspersión).

1.1. OBJETIVO GENERAL:

- Evaluación del Coeficiente de Uniformidad y determinación de la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión en la comunidad de Pacuri.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar el coeficiente de uniformidad y determinar la eficiencia de aplicación del sistema de riego de Pacuri, bajo condición de operación.
- Verificar y analizar el planeamiento del sistema, el diseño agronómico e hidráulico, operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego por aspersión.
- Recomendar una programación de riego óptima del sistema instalado para la producción de pastos.

1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

El sistema de riego por aspersión de la comunidad de Pacuri fue financiado por el Fondo de Promoción a la Inversión Pública Regional y Local (FONIPREL) en el 2008, con la finalidad de mejorar la eficiencia de aplicación del agua de riego y aumentar la producción de los principales cultivos.

El sistema de riego consta de una infraestructura que aprovechando el desnivel topográfico del terreno genera presión hidráulica para mover los aspersores, abasteciendo las necesidades hídricas de los cultivos en épocas secas y de auxilio en épocas lluviosas para una extensión de 31.10 hectáreas.

En la operación y manejo del módulo de riego del sistema en la comunidad de Pacuri no se está tomando en cuenta los parámetros de riego (caudal, presión, tiempo de riego, etc.), los cuales son una herramienta importante para el aprovechamiento eficiente del agua en la agricultura bajo tecnología de riego presurizado; en el mismo sentido no se tienen una programación de riego adecuada para el sistema y solo se está realizando por turnos programados por la junta de usuarios de riego del distrito de Socos.

La evaluación a nivel modular es muy importante ya que mediante ella se puede verificar o comprobar si funciona eficientemente el modulo instalado, luego de una evaluación se puede aceptar, replantear o rechazar el modulo instalado.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El riego

CASTAÑÓN, L. (1991), define como la aplicación de agua en forma artificial, no por el producto de la lluvia, a un determinado terreno con el fin de que este recupere un nivel de humedad que se aprovechable por las plantas que en él están arraigadas permitiéndoles vivir y desarrollarse.

La formamás usual de riego en ese entonces era por inundación, con el correr del tiempo y viéndose en la obligación de proteger un recurso con el agua que no es inagotable, nos vimos en la necesidad de crear sistemas de riego más eficientes, donde se aprovecha en mejor forma el agua y donde pudiéramos aplicar abonos, insecticidas, etc. durante el riego

Tipos de riego

- **Riego por goteo:** permite aplicar agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el sistema radical del cultivo.

Este método elimina la aspersion y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permitiendo que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada. El agua es transportada a través de una extensa red de tuberías hasta cada planta donde abandona la línea por emisores en forma de gotas, estos emisores son los goteros, los que disipan la presión del sistema por medio de un orificio de pequeño diámetro o por un laberinto de largo recorrido,

permitiendo descargar al suelo, desde el sistema, solo unos pocos litros por hora en cada emisor.

Ventajas del sistema:

- Su eficiencia de riego es la más alta de entre todos los tipos de riego, entre 90 a 95% teniendo además una distribución del agua muy uniforme.
- Los intervalos de aplicación de riego se pueden ajustar exactamente al tipo de suelo y cultivo.
- El sistema no necesita supervisión constante.
- El agua se aplica de forma que llegue solo a las raíces del cultivo evitando el crecimiento de malezas, pérdidas de carga, etc.
- Se puede aplicar fertilizantes y pesticidas solubles a través del riego.

Desventajas del sistema:

- Su alto costo de inversión ya que se requiere de mínimo un emisor por planta, además de complejos sistemas de control y abastecimiento.
- El sistema debe poseer un eficiente sistema de filtrado evitando taponamiento en los goteros lo que provoca entregas irregulares de caudal.

- **Riego por aspersión:** se caracteriza por aplicar el agua en forma de lluvia, para obtener este resultado se hace pasar el agua de riego a través de pequeños orificios, necesitando para ello de considerables presiones, obtenidas por equipo de bombeo o por grandes desniveles.

Debido a la flexibilidad de su uso es eficiente el control en la aplicación del agua, este método permite el riego de una amplia gama de suelos que no pueden ser regados adecuadamente y eficientemente con métodos tradicionales, tal es el caso de suelos muy arenosos o muy arcillosos, de alta o baja velocidad de infiltración y con pendientes pronunciadas.

Ventajas del sistema:

- Alta eficiencia de aplicación del agua 80% y uniformidad en el perfil del suelo.
- Utilizable en suelos de cualquier pendiente con peligro muy remoto de erosión y sin necesidad de nivelación de terreno.
- Aventura muy superiormente a los métodos superficiales en la aplicación de agua para la germinación de semilla.
- Facilita el control de la lámina de riego, lo que permite regar en forma adecuada y satisfacer los requerimientos de lavado.
- Se puede incorporar en el riego fertilizantes y sustancias de uso fitosanitario.
- La mano de obra de operación se reduce al mínimo, disminuyendo más en el caso de contar con automatización.

Desventajas del sistema:

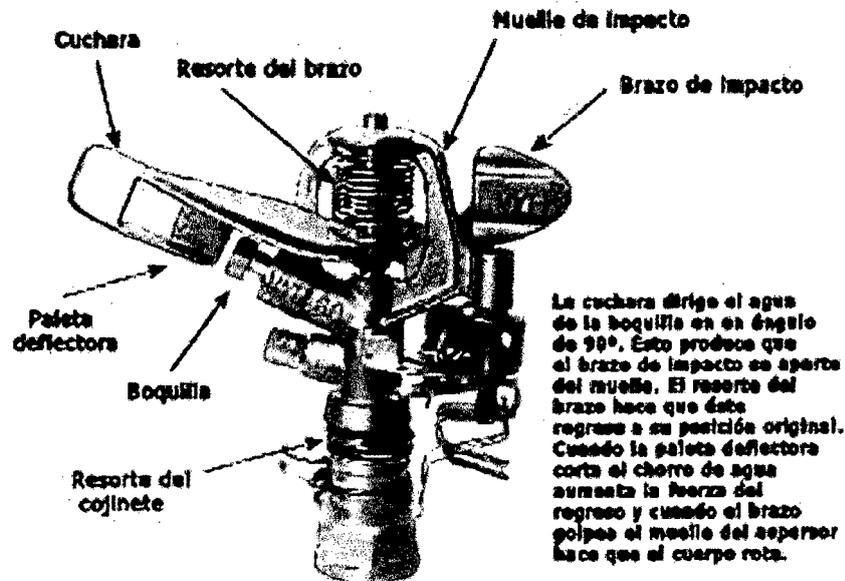
- Tiene un costo inicial relativamente alto.
- Los costos de operación son más elevados que los otros riegos tecnificados por necesitar presiones de trabajo mayores.
- El viento puede distorsionar por completo la distribución del agua bajando su eficiencia.
- Puede crear condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas y reducir la efectividad de aplicación de herbicidas, producto del lavado del follaje.
- El impacto de la lluvia en las flores del cultivo puede causar su caída, influyendo en los rendimientos de cosecha.
- El agua de riego necesita de una infiltración previa, para impedir el paso de materiales abrasivos como la arena hacia las boquillas de descarga.

Aspersores: el sistema de riego debe su nombre al emisor que provoca la característica de una llovizna, este emisor es el aspersor.

Los aspersores son toberas provistas de un mecanismo que les permite rotar sobre su eje utilizando para esto la fuerza del agua. Para su funcionamiento necesitan de ciertas presiones que se hacen mayores a

medida que sea necesario que aumente su caudal como el alcance depende del diámetro de la boquilla de salida del aspersor. Cuando se requiere de alcances o caudales diferentes se debe reemplazar la boquilla por otra de diferente diámetro.

Figura n° 01: Representación de un aspersor



Clasificación de los aspersores:

Los aspersores se pueden clasificar:

- Según el mecanismo de giro:
 - de impacto: los más utilizados en la agricultura
- Según el superficie regada:
 - circulares: aspersores que mojan una superficie circular
 - sectoriales: aspersores que solo mojan una porción de una superficie circular
- Según la presión de trabajo:
 - alta: presión superior a 4 kg/cm²
 - media: presión entre 2 y 4 kg/cm²
 - baja: presión inferior a 2 kg/cm²

2.2. Evaluación de riego

CASTAÑÓN, G. (1991), señala, que la evaluación de riego permite conocer, o por lo menos estimar con buena aproximación, los déficits reales existentes para cada tiempo de aplicación, así como, en general, las pérdidas por filtración profunda. Las informaciones así obtenidas pueden ser utilizadas para cuantificar los excesivos o deficientes aportes y así poder modificarlos. Muchas veces será posible lograr un ahorro de costos, de gran importancia en la economía de la explotación, aunque este no sea el fin principal de la evaluación. También será para mejorar nuestras futuras instalaciones y compararlas con otras en funcionamiento, buscando una mejor eficiencia en las condiciones específicas de campo.

Las evaluaciones deben efectuarse en parcelas representativas del área que se va estudiar y, dentro de ellas, la toma de datos se efectuara en puntos también representativos del conjunto de riego. A veces es conveniente efectuar alguna medida complementaria para comprobar, especialmente en caso de disparidades, disminuyendo la posibilidad de errores, tanto experimentales como de toma de datos.

La evaluación consiste en colocar una red de pluviómetros en el campo y medir las principales variables de riego: tiempo de riego, volumen de agua en cada pluviómetro, dirección y velocidad del viento, así como las características del aspersor.

Los pluviómetros son simples botes, de 10 a 15 cm de diámetro y unos 15 cm de altura, que deben colocarse perfectamente rectos, con el fin de que la sección de recogida del agua sea la misma. Se pueden situar a distancias fijas unos de otros, con una separación habitual de 2 a 3 metros en aspersión tradicional.

Se colocan sobre el terreno cubriendo una cuadrícula de dimensiones mayores que el diámetro mojado, cuando se evalúa un aspersor, o del marco, en caso de evaluar una instalación. En ciertos casos se puede efectuar la evaluación radial, en la que se instalan solo los pluviómetros correspondientes a 1 o bien 2 diámetro perpendiculares, con

el fin de efectuar un menor número de medidas. En caso de viento fuerte esta determinación no es aconsejable.

La preparación de una correcta evaluación hace necesario:

- Elegir dentro de la instalación un ramal representativo y 3 aspersores consecutivos con presión de trabajo similar a la medida de la instalación.
- Colocar los pluviómetros con la separación elegida, dentro del área regada por los 3 aspersores. Su número no debe ser menor de 24, si queremos una evaluación de cierta calidad.
- Poner un pluviómetro fuera del alcance de los aspersores, con una altura de agua conocida, para medir la evaporación producida durante la prueba.
- Medir el marco de aspersión.
- Determinar la presión de trabajo mediante un tubo de pitot y el caudal mediante mangueras acopladas a las boquillas, cubo aforador de 10 litros y cronometro. Estas medidas deberán comprobarse en 2 o 3 aspersores del ramal, con el fin de asegurar que representan valores medios de la instalación. Al mismo tiempo se evitan posibles errores, en caso de una única determinación.

2.3. Evaluación y mejora del sistema de riego

TARJUELO, J.M. (2005), señala, que la correcta utilización del agua por el regante para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos, que indican el momento y la cuantía de cada riego, y un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación de agua.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, mano de obra, energía, suelo, etc., así como una mejora de los rendimientos de los

cultivos. La evaluación puede servir además para establecer criterios de elección del sistema más adecuado a las condiciones de cada zona regable.

Los principales parámetros empleados en todos los procedimientos de evaluación en el campo se mencionan a continuación.

- a) Déficit de humedad del suelo (DHS)
- b) Déficit permisible de manejo (DPM)
- c) Uniformidad de distribución (UD)
- d) Coeficiente de uniformidad (CU)
- e) Coeficiente de variación (CV)
- f) Coeficiente de uniformidad estadístico (CUE)
- g) Eficiencia de aplicación (EA)
- h) Eficiencia potencial de aplicación (EPA)
- i) Eficiencia de descarga (Ed) o proporción de agua que llega al suelo.

2.5. Sistemas de riego por aspersión

TARJUELO, M. (2005), dice que este método implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en las tuberías porta emisores, (ramales, alas o laterales de riego) induce un caudal de salida. La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor.

2.6. Diseño de sistemas de riego por aspersión

TARJUELO, M. (2005), Este tiene dos partes bien diferenciadas como el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Con el primero se aborda la adecuación del sistema a todos aquellos aspectos relacionados con los condicionantes del medio (suelo, cultivos, clima, parcelación, etc.) y con el segundo se realiza el dimensionamiento más económico de la red de tuberías con el objetivo de conseguir un reparto uniforme del agua de riego.

2.7. Diseño agronómico e hidráulico en riego presurizado

FUENTES, Y. (2003), hace mención, el diseño agronómico e hidráulico es parte fundamental en todo tipo de proyecto de riego ya que si se cometen errores en los cálculos del diseño agronómico repercutirá posteriormente en el diseño hidráulico. Por ejemplo, puede resultar que con el riego se humedezca un volumen de suelo menor que el adecuado si se instalan un número incorrecto de emisores, o bien se puede producir una salinización del suelo por una falta de lavado de sales.

A continuación se exponen los aspectos que se han de tener en cuenta para realizar un adecuado diseño agronómico.

- Necesidades máximas de riego.
- Volumen de suelo húmedo.
- Número y disposición de emisores.
- Frecuencia y tiempo de riego.

2.7.1. Diseño agronómico en aspersión

FUENTES, Y. (2003); este autor menciona el diseño agronómico tiene por finalidad garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua. Se desarrolla en dos fases:

- Cálculo de la necesidad de agua.
- Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia e intervalo entre riegos, caudal necesario, duración de riego, números de emisores y disposición de los mismos.

TARJUELO, M. (2005), Como se sabe, el objetivo del riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el perfil del suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío.

El diseño agronómico es una parte fundamental del proyecto de riego presentando ciertas dificultades tanto de tipo conceptual como de cuantificación de ciertos parámetros, por el gran número de condicionantes que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivos, parcelación, etc.)

Para evaluar el diseño agronómico se recomienda tener en cuenta 3 aspectos que continuación se detalla:

- a. Estimación de la necesidad de agua de los cultivos.
- b. Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, duración del riego, numero de emisores por postura, caudal necesario, etc.
- c. Disposición de los emisores en el campo.

a. ESTIMACIÓN DE LA NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS

MARTÍNEZ, J. (1999), Las necesidades de agua se obtienen al hacer el balance entre las ganancias y las pérdidas de agua. Las pérdidas son principalmente las correspondientes a la evapotranspiración, mientras que las ganancias son las que resultan de las precipitaciones. En determinadas condiciones son mayores las pérdidas de las ganancias por lo que hay que compensar estas últimas con un aporte complementario de agua en forma de riego.

El cálculo se distingue entre necesidades netas y reales, siendo las necesidades netas las que requiere y aprovecha la planta, pero dado que no estamos en un sistema ideal sino que hay una serie de perdidas hasta que llega el agua en forma efectiva al interior de la planta, habrá que considerar estas pérdidas e incrementar las necesidades netas, por lo que aparece el término de las necesidades reales. Las necesidades netas responden a la siguiente fórmula:

$$Nn = ET_o - Pe$$

[1]

Dónde:

Nn : Es la necesidad de agua (mm/mes).

ET_o : Es la evapotranspiración potencial.

Pe : Es la precipitación efectiva

En sentido estricto, el balance es:

$$Nn = (ET - Ppa) - (Pe + F + A\theta)$$

[2]

Dónde:

- ET : Evapotranspiración.
- Ppa : Percolación profunda que se considera después de la eficiencia de aplicación.
- Pe : Precipitación efectiva.
- F : Aporte de la capilaridad de la capa freática que salvo casos excepcionales es despreciable.
- A θ : Es la variación de la humedad del suelo que se considera nula.

Las necesidades reales (Nr): resultan de multiplicar las necesidades netas por un coeficiente según la fórmula:

[3]

$$Nr = \frac{Nn}{Ea \times (1 - FL)}$$

Dónde:

- Nn : Necesidad de agua.
- Nr : Necesidad real (mm/mes)
- Ea : Eficiencia de aplicación.
- FL : La fracción del lavado.

Las necesidades netas y reales se expresan en mm/mes, aunque también se puede expresar como necesidades diarias en mm/día.

- b. Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, duración del riego, número de emisores por postura, caudal necesario, etc.**
- **El intervalo y la dotación de riego:** El agua disponible en el suelo se expresa en porcentaje de volumen del suelo, y varía con el estado de humedecimiento del mismo. Los dos extremos son:
 - **Capacidad de campo:** el suelo contiene toda el agua que puede fijar en sus poros mediante las fuerzas capilares. Este estado coincide con la humedad de un suelo, un día después de haber sido irrigado abundantemente.

- **Punto de marchitez permanente:** el suelo contiene tan poca agua que las plantas sufren un estado de marchitez irreversible.

El volumen de agua entre estos dos extremos se llama Agua Rápida Aprovechable (ARA), y constituye el agua que teóricamente está a la disposición de las plantas. Este volumen de agua disponible varía considerablemente con el tipo de suelo. Cuadro N° 01 tipos de suelo.

Cuadro N° 01: Capacidad de retención de agua de diferentes tipos de suelos

Tipo de Suelo	Aprovechable (%)
Arcilloso	20
Limoso	14
Arenoso	6

Fuente: Doorenbos y Pruitt

La cantidad de agua que una planta puede extraer del suelo está determinada por la profundidad de sus raíces en metros el agua rápidamente aprovechable en el suelo (ARA) en decimales, y la fracción de esta agua (FARA), igualmente en decimales, que depende del cultivo y de la evapotranspiración en la zona. Esta cantidad es expresada en una lámina de agua, (LARA, Lámina de Agua rápidamente Aprovechable) generalmente tiene la dimensión de mm.

En fórmula:

$$\text{LARA} = \text{Prof. raíces} \times \text{ARA} \times \text{FARA} \times 1000$$

[4]

Dónde:

LARA : Lámina de agua rápidamente aprovechable.

ARA : Agua rápidamente aprovechable en el suelo.

FARA : Fracción de agua rápidamente aprovechable por los cultivos.

- **El intervalo de Riego (IR):** Es el tiempo máximo permisible entre dos riegos, en días, (antes de que el cultivo pueda sufrir un estrés hídrico), y depende de la lámina que evapora la planta por día (L_n) y la cantidad de agua que pueda extraer el suelo (LARA), y está dado por:

$$\boxed{IR = \frac{LARA}{Ln}} \quad [5]$$

Dónde:

IR : Intervalo de riego (días).

Ln : Lámina que evapora la planta por día (mm/día).

- **La dotación neta de riego D_n :** Es la lámina de agua que se requiere dar al suelo cuando el cultivo ha extraído la fracción de agua rápidamente aprovechable (FARA) de su zona de raíces. Una dotación más grande significa una pérdida de agua, porque significa que el nivel de humedad en la zona de raíces superará la capacidad de campo, y parte del agua percolará por debajo de la zona de raíces.

Por lo general, D_n es igual a LARA (ambos en mm), específicamente cuando el intervalo de riego escogido es igual al máximo permisible. Si el intervalo de riego adoptado es de menos días, entonces $D_n = Ln \times IR_{real}$.

$$\boxed{IR = \frac{LARA}{Ln}} \quad [6]$$

- **La dotación bruta de riego D_b :** Es mayor que la dotación neta (D_n) porque parte de la lámina de riego aplicado es perdida como consecuencia de la mala uniformidad de la lámina aplicada, y otros factores:

$$\boxed{D_b = \frac{D_n}{Ea} \times 100} \quad [7]$$

Dónde:

D_b : Dotación bruta (mm)

D_n : Dotación neta (mm)

Ea : Eficiencia de aplicación (65-75% para riego por aspersión)

La dotación bruta D_b tiene que ser asegurado por los aspersores que tienen una intensidad de precipitación P_p (mm/hora), y eso determina el

tiempo de riego, es decir las horas que los aspersores tienen que estar en una sola posición.

En parcelas con diferentes cultivos la solución más práctica es de adoptar el intervalo más corto de los calculados para los diferentes cultivos.

- **La selección del aspersor:** La selección del tipo de aspersor a aplicar en un sistema de riego por aspersión está sujeta a varios factores:
 - Velocidad básica de infiltración: la intensidad de precipitación del aspersor, expresada en mm/hora, no debe superar la velocidad básica de infiltración del suelo, para evitar escorrentía.
 - El tamaño de las parcelas: en parcelas grandes se puede aplicar aspersores con un diámetro mojado grande, mientras que en parcelas pequeñas se deberían aplicar aspersores con diámetros mojados más pequeños para adecuarse al área más pequeña, o aplicar aspersores sectoriales.
 - Tipo de cultivos: Si la parcela será dedicada a hortalizas con rotaciones muy estrechas, será conveniente un aspersor con un diámetro pequeño (micro aspersores) para poder ajustar el riego a las necesidades de cada parte de la parcela.
 - Presiones de trabajo disponibles: para condiciones de la sierra se quiere aspersores que puedan trabajar en un rango largo, desde presiones de 1 atm. hasta 4.5 atm.

Existe una amplia gama de modelos de aspersores, adaptados a diferentes condiciones del terreno, cultivos, características del sistema, etc. Sin embargo, no todos los tipos se adaptan igualmente a las condiciones específicas de un riego presurizado con los desniveles naturales de terreno.

- **Infiltración: CASTAÑÓN, G. (1991).** Señala, que la infiltración es el flujo del agua desde la superficie del suelo hacia la zona de las raíces en primer lugar y posteriormente hacia capas más profundas, mientras dura el aporte del agua. El agua penetra en el suelo por los poros, grietas u orificios entre partículas y agregados del mismo. Se produce un frente de

humedecimiento del terreno que inicialmente avanza con gran velocidad, velocidad que suele ir disminuyendo con el paso del tiempo.

La velocidad de infiltración depende principalmente de la porosidad y permeabilidad del suelo. Esta permeabilidad depende de su textura y estructura, de la materia orgánica existente y de las prácticas culturales efectuadas.

Hay que distinguir la infiltración instantánea I_i , que es la cantidad de agua que penetra en la unidad de tiempo y la infiltración acumulada I_a , que es la suma de las infiltraciones instantáneas, medidas en el periodo de tiempo t .

- **Velocidad básica de infiltración (VBI):** La mejor manera de determinar la velocidad básica de infiltración VBI es mediante mediciones en situ, utilizando por ejemplo un cilindro infiltrómetro o el método del surco infiltrómetro.

Una manera sencilla para hacer una estimación de la intensidad de precipitación de un tipo de aspersor, es a través de los cálculos siguientes:

De acuerdo al espaciamiento entre los aspersores, se puede considerar que el área de influencia directa de cada aspersor, incluyendo todos los efectos de traslape, corresponde a la distancia de espaciamiento elevado al cuadrado.

$$P_p = \frac{Q}{D^2} \times 1000 \quad [8]$$

$$P_p = \frac{Q}{D_{asp} \times D_{linea}^2} \times 1000 \quad [9]$$

Dónde:

- Q : Caudal del aspersor (m³/h).
- D : Distancia de espaciamiento entre 2 aspersores (m).
- P_p : La precipitación del aspersor en mm/h.
- D_{asp.} : Distanciamiento entre aspersores
- D_{linea} : Distanciamiento entre hidrantes

Para una elección de un tipo de aspersor el criterio es entonces que

$$VBI \geq Pp$$

El tiempo de riego:

$$Tr = \frac{Db}{Pp} \quad [10]$$

Dónde:

Tr: Tiempo de riego (h)

Pp: La precipitación del aspersor (mm/h).

Db: Dosis bruta de agua (mm)

c. Disposición de los emisores en el campo:

Diseño de la línea de riego móvil

Una vez que se tiene definidos los sectores de riego y la ubicación de las cámaras de carga, se puede proceder a la ubicación de los hidrantes. Pero primeramente tenemos que diseñar la línea de riego móvil que va a regar el sector.

El caudal de riego del sector es dado por:

$$Q_{\text{sector}} = A_{\text{sector}} \times Mr \quad [11]$$

Dónde:

Q_{sector} : Caudal del riego del sector (l/s).

A_{sector} : Área del sector de riego (ha).

Mr : Módulo de riego (l/s.ha).

El número de aspersores es dado por:

$$N_{\text{asp.}} = \frac{Q_{\text{sector}}}{Q_{\text{aspersor}}} \quad [12]$$

Dónde:

$N_{\text{aspersores}}$: Número de aspersores por parcela.

Q_{sector} : Caudal del sector.

Q_{aspersor} : Caudal del aspersor.

Para el caudal del aspersor tomaremos el caudal dada por la tabla de característica del aspersor seleccionado, y para la presión promedio que se espera obtener en las líneas de riego (1,8 o 2,0 Bar generalmente). El resultado de $Q_{sector} / Q_{aspersor}$ redondeamos hacia arriba (por ejemplo: 4,3 aspersores redondeamos a 5).

Una vez determinado el número de aspersores del sector se debe definir el **distanciamiento entre aspersores**. Para eso se tiene que respetar el criterio de:

$$D_{entreaspersores} \leq 0.65 \times D_{mojado}$$

[13]

Para determinar el diámetro mojado consultamos la tabla de característica del aspersor. Si nuestra intención es, elevar el aspersor con un elevador de X metros (para regar encima de cultivos altos), el diámetro indicado en tablas se aumentará entre $4 \times X$ y $6 \times X$.

El distanciamiento real entre aspersores se escoge evaluando en el plano topográfico el ancho de la parcela a regar en sentido paralelo a las curvas de nivel (Ancho parcela).

$$N_{aspersores} \times 0.8 \times D_{\text{área mojado}}$$

[14]

Entonces se tendrá que optar por ubicar una o varias filas de hidrantes en medio de las parcelas (la parcela se regará extendiendo la línea de riego móvil hacia ambos lados de los hidrantes). Una vez determinado la mayor distancia entre hidrante y límite del sector de riego, medido en forma paralela a las curvas de nivel, se divide esta distancia entre el número de aspersores para definir el distanciamiento.

Ubicaciones de la línea de riego móvil por el sector de riego

En el plano topográfico se diseña la línea de riego determinado, y se trata de ubicarlo de la manera más conveniente por todo el sector a regar. Para eso se tienen que marcar primeramente las áreas no regables por falta de presión hidrostática, relativa a la altura de la cámara de

carga/reservorio proyectado para el sector, o por otras razones. Las ubicaciones de las líneas de riego se proyectan luego sobre el área a regar, pensando en el requisito de que la inclinación de la línea de riego debe mantenerse cerca de la horizontal, ya que grandes desniveles en la línea de riego producen diferencias de presiones entre aspersores y desuniformidad de la precipitación (es decir, la línea de riego sigue el sentido de las curvas de nivel).

Cuando se determinaron de esta manera las posiciones que la línea de riego móvil tendrá para cobertura de todo el sector, se escogen los puntos de entrega, los hidrantes, tomando en cuenta lo siguiente: Los hidrantes son componentes relativamente caras en la red de parcela, por lo tanto su número tiene que limitarse. Como regla se puede tomar para la distancia entre hidrantes 3 veces la distancia entre líneas.

Para determinar la longitud de la manguera de la línea de riego móvil, utilizamos la siguiente fórmula:

$$LM = (N_{aspersores} - \frac{1}{2}) \times D_{aspersores} + D_{hidrantes}$$

[15]

Dónde:

- LM : Longitud de la manguera de la línea móvil
- $N_{aspersores}$: Número de aspersores de una línea
- $D_{aspersores}$: Distanciamiento entre aspersores en la línea de riego
- $D_{hidrantes}$: Distanciamiento entre líneas

Diseño de las líneas de riego fijas (líneas de presión)

Para el diseño de las líneas de riego fijas, basta conectar los hidrantes del sector con el reservorio/cámara de carga por la vía más corta. Por lo general esto significa conectar los hidrantes con líneas rectas. Donde los puntos a conectar forma triángulos con lados equidistantes puede ser conveniente conectarlos en forma de “polígonos de Thiessen” para reducir distancias de tuberías.

2.6.2 Diseño hidráulico en aspersión

FUENTES, J. (2003), señala el diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y del óptimo trazado de la misma. La forma generalizada, el cálculo de la red de distribución en sistema de riego a presión, haciendo uso de las fórmulas de Blasius y de Hazen – Williams. A continuación se expone un cálculo más sencillo haciendo uso de la tabla (para tuberías de aluminio, PE o PVC).

Los ramales laterales, porta aspersores o alas de riego son los que distribuyen el agua al cultivo por medio de los aspersores acoplados a ellos. Las tuberías porta-laterales o de alimentación son aquellas de donde derivan los laterales. Tanto en laterales como en porta se da el caso de una conducción con salida múltiples distribuidas a lo largo de ella, uniformemente espaciadas y por las que descarga el mismo caudal.

$$Q = n \times q$$

[16]

Dónde:

- Q : caudal del ramal
- n : número de salida.
- q : caudal de cada salida.

Cristianasen ideó un método basado en calcular la pérdida en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad, sin salida intermedia, por la que circula el caudal. Posteriormente se multiplica por un coeficiente reductor F (factor de Cristianasen) para que las pérdidas en ambos casos sean equivalentes. El 75% de pérdida de carga por rozamiento que se producen en los ramales laterales ocurren en la primera cuarta parte de su longitud, por cuyo motivo es importante la distancia a que está acoplada la primera salida.

GARCÍA Y BRIONES (2007); comenta, el diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión, se debe tener en cuenta en dos aspectos principales:

- Flujo en tuberías con una entrada y una salida (principal, sub-principal y auxiliar).

- Flujo de tuberías con salidas múltiples (laterales y distribuidor o secundaria)

La base para el diseño será la selección de los diámetros de tal manera que las pérdidas de energía no deban de exceder los límites establecidos tal que las eficiencias y uniformidades que resulten sean satisfactorias.

$$J = k \times \left(\frac{Q_p}{C}\right)^{1.852} \times \left(\frac{1}{D^{4.87}}\right) \quad [17]$$

Dónde:

- J : Gradiente de pérdida de carga en (m/100m) o (ft/100ft)
- K : 1.21×10^{12} para el sistema métrico o 1050 para el sistema ingles
- Q_p : es el gasto que pasa a través de la tubería en l/s o gal/min
- C : es el coeficiente de fricción
- D : es el diámetro interno en mm

La ecuación de Hazen- Williams es la más usada para calcular las pérdidas de carga en las tuberías de plástico específicamente en riego por goteo. Por otra parte muchos problemas de flujo en tuberías son evaluados con la fórmula de Darcy - Weisbach.

$$H_f = f' \frac{L'}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad [18]$$

Dónde:

- H_f : es la pérdida de carga en metros
- L' : es la longitud del tubo en metros
- D : es el diámetro interno en metros
- V : es la velocidad promedio del flujo en m/s
- g : es la constante gravitacional 9.81 m/s^2
- f' : es el factor de fricción

CASTAÑÓN, G. (1991), Cálculo de la tubería principal; la red principal de una instalación de riego está constituida por el conjunto de tuberías

abastecedoras de las alas de riego. Sobre ellas van instalados los aspersores y las únicas salidas que suelen tener son los hidrantes.

A partir de una cierta superficie a regar, dichas tuberías suelen ser fijas y enterradas, con el fin de no entorpecer las labores agrícolas y, al mismo tiempo, ampliar su duración al estar protegidas tanto de los factores atmosféricos como los humanos.

La profundidad que vaya instalado debe ser suficiente para que no sean afectadas por las labores de cultivo, haciendo especial mención de las presiones producidas por el paso de aperos, maquinarias y, sobre todo, camiones.

En caso que se prevean grandes cargas, cada vez más habituales en una agricultura moderna, las tuberías deben protegerse eficazmente contra las roturas así provocadas. El sistema más empleado es reforzar con hormigón los lugares donde se producirá el paso por encima de la tubería.

En otros puntos de la red, donde puedan producirse sobrepresiones y grandes empujes sobre elementos de la tubería especialmente puntos singulares, será necesario calcular los correspondientes elementos de protección (ventosas, válvulas, anclajes de hormigón, etc.) para evitar el deterioro y las posibles roturas de la misma.

Dichas tuberías deberán poder vaciarse, principalmente en épocas de no utilización, para evitar la sedimentación o incrustación de sustancias en suspensión así como la congelación del agua en periodos de fuertes heladas.

En estas tuberías, en las que no hay salidas de aspersores, la tolerancia de pérdidas de carga es solamente cuestión económica, teniendo únicamente en cuenta la velocidad de circulación del agua no debe ser inferior a 0.60 m/s para evitar sedimentaciones, ni superior a 3.0 m/s, para obtener una correcta distribución de la misma.

La determinación de los diámetros de las tuberías se puede hacer mediante la comparación entre la repercusión anual del costo inicial de las mismas y el coste anual de la energía consumida en vencer las pérdidas de carga, en los posibles casos que puedan presentarse.

Al aumentar los diámetros de las tuberías crece la inversión inicial pero disminuyen las pérdidas de carga, es decir el gasto de energía. En este cálculo un factor a tener muy en cuenta es el número de horas anuales de riego pues repercute en la energía total consumida.

El coeficiente f es en función del número de Reynolds y de K , Altura de las asperezas de la tubería, para valores elevados, del primero, lo que ocurre normalmente en las tuberías de riego, solo depende del segundo.

Los puntos singulares son aquellos en que se producen una variación en el régimen de la corriente. Existen en toda red de tuberías de riego, siendo los más conocidos los codos, té, reducciones, ampliaciones, estrechamientos, válvulas, etc. En todos ellos se produce una mayor pérdida de carga que el correspondiente al tramo de tubería recta.

Dicha pérdida se puede calcular en cada uno de ellos, pero lo normal, salvo redes muy complicadas, es estimar la producida en dichos puntos como un 5 o 14% de la calculada para toda la tubería, según la menor o mayor complejidad del trazado.

Los caudales circulantes por dichas tuberías y, en consecuencia, los diámetros de las mismas, irán disminuyendo a medida que cada ala vaya tomando el agua necesaria para el riego de sus aspersores.

La solución idónea y más económica consiste en dimensionar la tubería por tramos, según el caudal máximo que pueda circular por ellos, que depende del número de alas de regando aguas arriba.

Conociendo el caudal Q que debe transportar cada tubería se determina el diámetro, por la ecuación de conservación de la masa (continuidad):

$$Q = V \times A \times \pi \frac{D^2}{4}$$

[19]

La velocidad admisible del cálculo varía entre 0.6 y 3.0 m/s, como ya hemos indicado con anterioridad.

Una vez elegido un valor de cálculo para V , determinamos el correspondiente valor de D , diámetro que no siempre coincidirá con ninguno comercial existente en el mercado.

El valor real D del diámetro de la tubería será el más próximo al que se fabrique.

SAVALDI D, (1996), determina que para realizar el cálculo hidráulico en el riego por aspersión, primero se haya realizado el diseño agronómico.

- Número total de aspersores (N_{ta})
- Caudal del sistema de riego (Q)
- Longitud máxima del lateral (L_{max})
- Número total de laterales (N_{tl})
- Descarga del lateral (Q_l)
- Pérdida de carga en el lateral (H_{fn})
- Presión en la entrada del lateral (H_{pn})

2.8. Evaluación de la uniformidad de riego por aspersión

LA JUNTA DE ANDALUCÍA (2003), refiere que la evaluación de un sistema de riego por aspersión es un proceso por el cual se puede saber si la instalación y el manejo que se hace de ella reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuadamente, esto es, cubriendo las necesidades del cultivo para la obtención de máximas producciones y al mismo tiempo, minimizando las pérdidas de agua. Sin entrar en complejidades técnicas, por todos es conocido que el aspersor no distribuye uniformemente el agua, variando la cantidad a lo largo del chorro, según el tipo de emisor elegido.

La uniformidad en la distribución tiene importancia por los efectos y pérdidas de agua que se produce, teniendo una gran repercusión en la eficiencia del riego. La separación entre aspersores debe permitir un recubrimiento de las áreas mojadas, buscando una buena uniformidad. Si

el recubrimiento es total y la separación entre aspersores igual al radio mojado, la uniformidad será muy buena. Pero existe el inconveniente que la pluviometría sea alta y que se aumente mucho el material necesario para el riego. Por estas razones, el solape de aspersores es una cuestión muy debatida y los diferentes investigadores, ya autores, no se ponen de acuerdo en cuál es la separación óptima. Una baja uniformidad en un sistema de riego por aspersión implica la existencia de zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez; o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas.

I CURSO TALLER DE ESPECIALIZACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LADERA, Ayacucho 2008, señala que una baja uniformidad en un sistema de riego implica la existencia de las zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas en cualquier caso, con baja uniformidad será difícil obtener producciones satisfactorias.

a) Uniformidad de la zona evaluada

Antes de comenzar el riego, se colocará una red de vasos pluviométricos formando una malla de 3x3, 2x2 metros entre dos ramales, que recogerán agua de tres aspersores.

Los vasos se instalarán sobre el suelo cuando el cultivo no altere la lluvia de los aspersores, y justo sobre el cultivo en caso contrario.

Se comenzará a regar y los vasos recogerán la lluvia de los aspersores. Cuanto mayor sea el tiempo durante el cual los vasos recojan agua, más fiables serán los resultados, dicho tiempo será como mínimo 90 minutos.

Cuando finalice la evaluación, se dejara regar y se medirá el volumen recogido en cada caso con ayuda de una probeta graduada en unidades de 2 cm³.

Con los volúmenes recogidos se calculará:

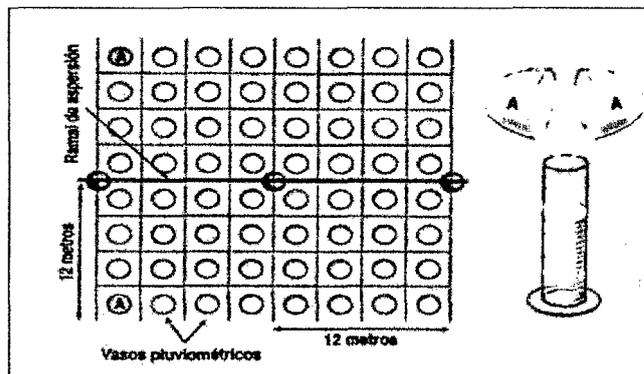
- ✓ Primero; La media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos (V_m).
- ✓ Segundo; la media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua ($V_{25\%}$).
- ✓ Tercero: la uniformidad de distribución de la zona evaluada (UD_{zona}) se obtendrá utilizando la siguiente fórmula:

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{V_{1/4}}{V}$$

[20]

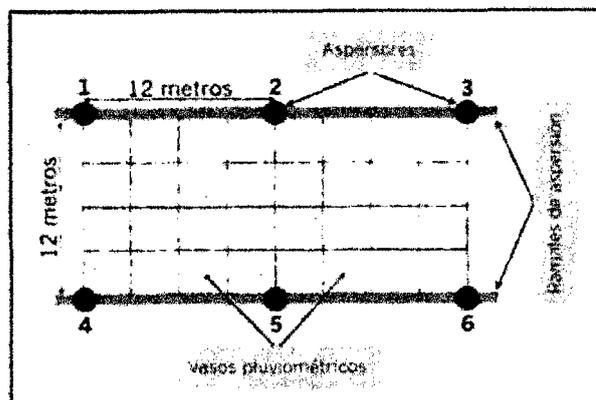
La parcela se riega con un único ramal de aspersión, los vasos se colocaran a ambos lados del ramal y se sumaran los volúmenes recogidos en los colocados a cada lado, según se muestra en la figura. El procedimiento de cálculo de $UD(zona)$ será idéntico en todos los demás.

Figura N° 02: Disposición de los vasos pluviométricos en un solo ramal.



Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos>

Figura N° 03: Disposición de los vasos pluviométricos en dos ramales.



Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos>

b) Uniformidad de instalación

El caudal de cada aspersor cambiará con la presión. La diferencia de presiones en toda la unidad de riego será mayor que la existente entre los aspersores de los que ha recogido el agua. Por esto la uniformidad en el conjunto de la unidad de riego (UD) será por regla general menor que la medida en la zona evaluada (UD zona).

Para estimar la UD se medirá la presión en unos cuantos aspersores distribuidos por ella en zonas con diferentes presiones. Como mínimo se medirán las presiones de los aspersores que mojan la zona evaluada y en el primer y último aspersor de los ramales en los que se encuentran situados.

Con los valores de presión medidos se podrá determinar:

- ✓ Primero: la presión mínima de las que se ha medido en los aspersores (P_{min}) en Kg/cm².
- ✓ Segundo: la media de las presiones medidas en todos ellos (P_m) en Kg/cm².
- ✓ Tercero: Una vez conocidos los valores de P_{min} y P_m se calcula la UD mediante la siguiente fórmula:

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1+3\sqrt{\frac{P_{max}}{P_m}}}{4} \quad [21]$$

Si se mide la presión en un número suficiente de aspersores, por ejemplo en 10, la presión media será la media de las presiones que se han medido.

En ramales sin pendiente, midiendo tan solo la presión en el primer (presión máxima, P_{max}) y el último aspersor (presión mínima, P_{min}) se puede estimar la presión media como:

$$P_m = L\rho = \left(\frac{V_m}{S}\right) \times 1000 \quad [22]$$

Si en un sistema móvil de riego por aspersión se riega utilizando posiciones alternas de dos ramales en diferentes riegos, la UD se incrementará. De esta forma, si UD es la uniformidad de distribución evaluada en un riego, la uniformidad de distribución utilizando esta práctica (UDa) será:

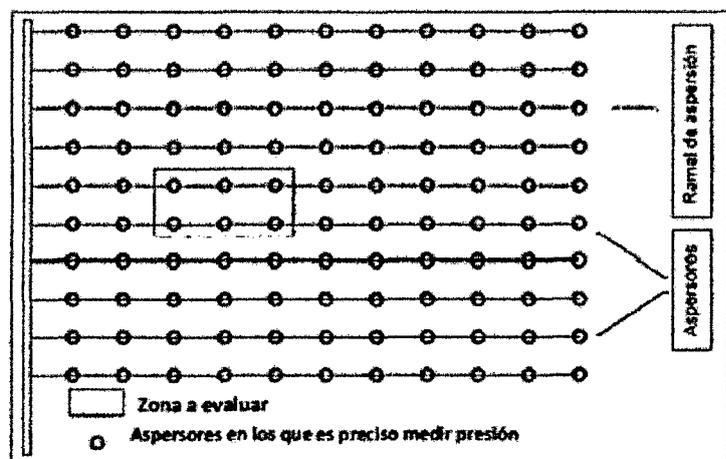
$$UDa = 10 \times \sqrt{UD} \quad [23]$$

Hasta aquí la uniformidad calculada corresponde a la unidad de riego.

Aún se puede mejorar la estimación de la uniformidad de aplicación del agua en el conjunto de la instalación.

Para ello se medirán las presiones en un conjunto de aspersores de cada unidad de riego, aunque sea preciso hacerlo en momentos o días diferentes, cuando esté regando cada una de las unidades.

Figura N° 04: Zonas específicas a evaluar, toma de presiones en estos aspersores



Fuente: I Curso taller de especialización de riego por aspersión en ladera (2008).

Con los valores de presión medidos se podrá determinar:

- ✓ Primero: la presión mínima de las que se han medido en todos los aspersores (P_{min}) en Kg/cm².
- ✓ Segundo: la media de las presiones medidas en todos ellos (P_m) en Kg/cm².

- ✓ Tercero: Una vez conocidos los valores de Pmin y Pm se calcula UD(instalación) mediante la siguiente fórmula:

$$UD_{\text{instalación}} = UD \times \frac{1+3\sqrt{\frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{m}}}}}{4} \quad [24]$$

De esta forma se obtendrá una excelente estimación de la Uniformidad de distribución de la instalación, que, en ningún caso, deberá ser inferior a 75%.

Dependiendo de valor de UD (instalación) obtenido, la calificación de la instalación será la siguiente:

Cuadro N° 02: Valor de la uniformidad de instalación

Valor de la Uniformidad de Distribucion	Calificacion
Mayor de 85%	Excelente
De 80 a 85%	Buena
De 75% a 80%	Aceptable
Menor de 75%	Inaceptable

Fuente: I Curso Taller de especializacion de riego por aspersion en ladera

La uniformidad también depende del viento y de las condiciones atmosféricas, por lo que se tomaran datos de viento y temperatura, para fijar las condiciones en que se realiza la evaluación.

2.9. Coeficiente de uniformidad

TARJUELO, J. M (2005), refiere que el coeficiente de uniformidad fue desarrollado por Cristianasen (1942), el cual es una representación estadística de uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de riego por aspersion; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado. En sistemas de riego por aspersion estacionario, se recomienda valores de CU mayores de 80%, aunque depende de la velocidad del viento.

El coeficiente de Uniformidad se expresa en % mediante la expresión siguiente:

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |V_i - V|}{n \times V} \right) * 100 \quad [25]$$

Dónde:

- CU : Coeficiente de uniformidad de Christhiansen, %
 X : Es la suma de la n desviaciones de la altura de agua distribuida con respecto al valor medio (M), de dicha altura en las (n) medidas tomada en diferentes puntos del área mojada.

El valor de coeficiente de uniformidad como parámetro límite aún no está definido, aunque la mayoría de investigadores como: Golberg, Woodland, citado por Razuri R, Vidan, El Janani y Rawits, citados por Valdivia; y finalmente Shani M. y Sapir E. Señalan un coeficiente de uniformidad de 84% como límite inferior para considerar como óptimo el funcionamiento del sistema de riego por aspersión. Pero también existen casos particulares en donde los coeficientes óptimos son menores; es el caso de Saint Foulc, (8) considerando 70%.

KELLER, J. (1983), definen el Coeficiente de Uniformidad del Sistema (CUs) como:

$$CU_s = \frac{CU \left[1 + \left(\frac{P_n}{P_a} \right)^{0.5} \right]}{2} \quad [26]$$

Dónde:

- Pn : presión mínima en un aspersor del bloque de riego,
 Pa : presión media de los aspersores del bloque

2.10. Uniformidad de distribución

KELLER, J (1983), manifiesta que la uniformidad de distribución la podemos definirla como:

$$UD = \frac{\text{Altura de agua recogida en el 25\% del anera menos regada}}{\text{Altura media del agua recogida}} \quad [27]$$

Normalmente, el aplicar riegos que produzcan ligeros o menos déficit en las zonas menos regadas por falta de uniformidad, suelen conducir al óptimo económico.

Así, para cultivos de valor medio o alto, tiende a que la altura media de agua aplicada (dosis neta), de un riego correcto, debe ser igual al "Déficit permisible de manejo (DPM)", de tal manera que coincida con la media del 25% del área menos regada. De esta forma, solo el 12.5 % del área estará infra regada. Para los cultivos de menor valor económico, así como los forrajes, la dosis neta se suele hacer coincidir con la media del 50% del área menos regada, en cuyo caso el 25% del área quedará infra regada.

KELLER, J (1983), define la uniformidad de distribución del sistema (UDs) como:

$$UD = \frac{UD \left[1 + 3 \left(\frac{P_n}{P_a} \right)^{0.5} \right]}{4} \quad [28]$$

Dónde:

- P_n : presión mínima en un aspersor del bloque de riego.
- P_a : presión media de los aspersores del bloque.

La UD_s es un parámetro de uniformidad de toda la subunidad de riego, no sólo del marco donde se realiza la evaluación. Así, cuando en la subunidad existan importantes variaciones de presión de unas zonas a otras, la UD_s será menor que si la presión es uniforme.

2.11. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento

I CURSO TALLER DE ESPECIALIZACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LADERA, Ayacucho 2008, En riego por aspersión existen dos factores que afectan negativamente a la aplicación del agua sobre el suelo: la evaporación de las gotas de agua que producen los aspersores y el arrastre de dichas gotas por efecto del viento. En las pérdidas por evaporación y arrastre del viento tiene gran importancia el tamaño de las gotas de agua que dan los aspersores y serán mayores cuando más pequeñas sean las gotas y mayor sea el viento y la temperatura.

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (Pe) se calculan como la diferencia entre lámina de agua aplicada por los aspersores (La) y la lámina de agua recogida en los pluviómetros (Lp).

$$Pe = 100 \times \frac{La - Lp}{La} \quad [29]$$

Para calcular la lámina de agua aplicada por los aspersores (La) se medirá el caudal de cada aspersor que moja la zona evaluada con ayuda de una manguera, un cronometro y un bidón de plástico en el que se marca un volumen conocido de (10 a 20 litros). Con estas medidas se seguirán los siguientes pasos.

- ✓ Primero: el caudal de cada aspersor, en litros por hora, se calculara mediante la fórmula:

$$Q_a = \frac{Qa(l/s)}{Superficie\ zona\ evaluada(m^2) \times 60} \times Tiempo\ de\ evaluacion\ (min) \quad [30]$$

- ✓ Segundo: el caudal aplicado sobre la zona evaluada (l/h) se calculará teniendo en cuenta que si se toman 6 aspersores, la cuarta parte del agua de los aspersores de las esquinas y la mitad de los otros dos cae en la zona evaluada.

$$Q_{aspersor}(l/h) = \frac{Q1}{4} - \frac{Q2}{2} - \frac{Q3}{4} + \frac{Q4}{4} + \frac{Q5}{2} + \frac{Q6}{4} \quad [31]$$

- ✓ Tercero: La se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$Q_a = 100 - filtracion\ profunda - evaporacion\ y\ arrastre\ del\ viento \quad [32]$$

2.12. Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego

I CURSO TALLER DE ESPECIALIZACIÓN DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LADERA, Ayacucho 2008, La eficiencia de aplicación máxima que se puede conseguir con el sistema de riego sin introducir modificaciones que

afecte a su diseño, se denomina eficiencia de aplicación óptima del sistema, que será la que se utilizara para programar los riegos.

La eficiencia de aplicación es el tanto por ciento del agua de riego que es realmente utilizada por el cultivo con respecto al total de agua aplicada, para lo cual hay que considerar las pérdidas de agua originadas por filtración profunda y pérdidas por escorrentía suele ser nula cuando el sistema está bien diseñado y no se producen fugas pero en cambio es preciso incluir las pérdidas por evaporación y arrastre del viento. Por tanto la eficiencia de aplicación será:

$$ED (\%) = \frac{\text{Pluviometria media recogida}}{\text{Pluviometria media aplicada}} \quad [33]$$

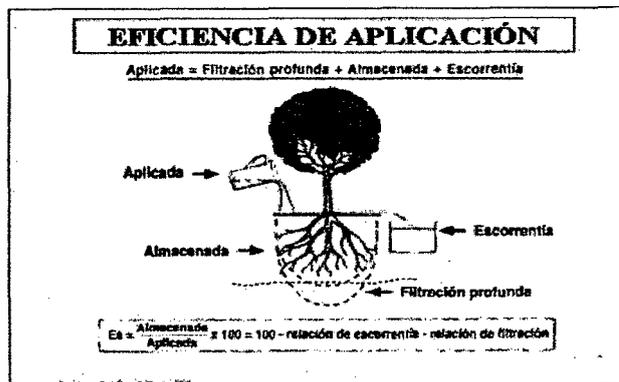
2.13. Eficiencia en el riego por aspersión

KELLER, J (1983), dice ésta es la relación entre la lámina promedio de agua almacenada en la zona radicular y la lámina promedio de agua aplicada. En términos numéricos, se considera al riego por aspersión con una eficiencia de aplicación al 75 %, valor razonablemente bueno.

Es necesario, para estimar la eficiencia de aplicación del agua, conocer todas las pérdidas de agua que se presenten durante el proceso del riego.

$$Q_{\text{aspersor}}(l/h) = \frac{\text{Volumen recogido pluviometro} \times 3600}{\text{Tiempo de llenado (s)}}$$

Figura N° 05: Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego.



Fuente: I Curso taller de especialización de riego por aspersión en ladera, Ayacucho 2008.

Relación entre lamina promedio de agua almacenada en la zona radicular y la lámina promedio de agua aplicada por el aspersor.

En términos numéricos se considera que, en riego por aspersión, una eficiencia de aplicación de riego del 75%, es un valor razonablemente bueno.

2.14. Eficiencia de descarga

TARJUELO, J M (2005), indica, que la eficiencia de descarga, es la relación porcentual entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores. La diferencia entre ambas son las pérdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de riego, debido fundamentalmente a las condiciones climáticas (temperatura, humedad, viento, etc.). También, hay que incluir en estas diferencias a los propios errores que conlleva la metodología, seguida en la evaluación.

$$EA (\%) = \frac{\text{Alturaretenidaenlazonaradicular}}{\text{Alturamediaaplicadaporelaspersor}} \quad [35]$$

a) Pluviométrica media recogida (HM)

Es igual a la altura media recogida por unidad de tiempo, en mm/ hora.

$$HM = \frac{PM \times 60}{T} \quad [36]$$

Dónde:

Pm : Precipitación media en mm

T : Tiempo de duración del ensayo (horas)

b) **Precipitación media:** es la altura media recogida en el ensayo en ml

$$HM = \frac{V}{S} \times 100 \quad [37]$$

Dónde:

V : Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetros, en ml.

S : Superficie del pluviómetros, en mm²

c) **Pluviometría media aplicada:** Altura media aplicada por unidad de tiempo, en mm/H.

$$q_r = \frac{q}{A_m} \times 100 \quad [38]$$

Dónde:

q_r : Caudal aforado en el aspersor de ensayo, en m^3/h .

A_m : Área Mojada por los aspersores (m^2).

2.15. Eficiencia de requerimiento

RENDÓN (1995), define a la eficiencia del requerimiento del riego o eficiencia de necesidad del cultivo como la relación entre volumen de agua utilizada para el requerimiento de la planta (V_u) y el volumen de agua de riego necesario para satisfacer las necesidades del agua en la zona de raíces del cultivo (V_r); es decir, es el porcentaje en que cubrió el volumen recorrido para abastecer la zona radicular del cultivo. Este parámetro se expresa en:

$$E_r = \frac{V_u}{V_r} \times 100 = \frac{V_r - V_d}{V_r} = 1 - \frac{V_d}{V_r} \quad [39]$$

Dónde:

V_d : Volumen de agua deficitaria en la zona de raíces del cultivo.

Es prioritario en los agricultores obtener altas eficiencias de requerimientos de riego, aunque tengan bajas eficiencias de aplicación. Esto se logra aplicando riegos pesados donde el volumen aplicado es mayor al volumen requerido por la planta. Este parámetro representa el complemento necesario en la evaluación de la eficiencia de aplicación que va permitir ajustar el tiempo correcto de riego, garantizando el óptimo requerimiento de agua en los cultivos y evitando así mayores pérdidas. Además, considerando este parámetro, es factible estimar la eficiencia en el área de riego, que según el punto de vista de Gurovich L. (citado por Olarte H.), se define en base a tres parámetros: eficiencia de aplicación, eficiencia del requerimiento y coeficiente de Uniformidad, expresándose de la siguiente manera:

$$E = E_a \times E_r \times C_U$$

[40]

Dónde: E: Eficiencia en el marco de riego.

2.16. Pérdidas de agua

LUJÁN G. J (1992), dice que en sistemas de riego por aspersión, las pérdidas de agua se producen principalmente por evaporación y percolación, además de la escorrentía que suele presentarse con mayor relevancia en terrenos con pendiente pronunciada. Las pérdidas por evaporación dependen de diversos parámetros como: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, pendiente y diámetro de las gotas del aspersor.

Las pérdidas por percolación se producen por que los equipos de aspersión no aplican agua con uniformidad. Así, cuando una determinada dosis neta ha sido aplicada al terreno, una parte de la superficie regada recibe agua en exceso, dando lugar a pérdidas por percolación por debajo de la parte principal del sistema radicular, mientras que otro recibe menos agua que la que debería.

La velocidad del viento también influye en la magnitud de las pérdidas de agua previamente citada, que aparte, de alterar la uniformidad de riego, y contribuir a la evaporación, incrementa las pérdidas por percolación.

En síntesis, las pérdidas por escorrentía se presentan sobre todo en zonas con pendientes pronunciadas, inadecuada selección del equipo de aspersión e incluso por efectos del viento. Un espaciamiento demasiado próximo entre aspersores provoca mayor escurrimiento y una posible erosión.

Las pérdidas de agua están relacionadas básicamente a la diferencia entre las aplicadas, y la suma de láminas captadas y su

evaporación en los pluviómetros durante la prueba, las cuales se pueden obtener mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Agua captada (\%)} = \frac{L_{\text{prom}}}{L_q} \times 100 \quad [41]$$

$$Q_{\text{parcela}} = \frac{Q_1}{2} + Q_2 + \frac{Q_3}{2} \quad [42]$$

$$Q_{\text{pluv.}} = \frac{L_{\text{evap}}}{L_q} \times 100 \quad [43]$$

$$\text{Perdida de agua} = 100\% - (\text{Agua captada} + E_{\text{pluv}})\% \quad [44]$$

Dónde:

L_{prom} : Lámina promedio de agua almacenada en los recipientes durante el tiempo de la prueba (mm).

L_q : Lámina aplicada en la zona de ladera medida en base a Aforos en los aspersores (mm).

Q_{parcela} : Caudal descargado por los aspersores en el área evaluada (l/h)

A_{parc} : Área evaluada durante la prueba (m²).

T_r : Tiempo de duración de la prueba (horas).

E_{Pluv} : Evaporación en el pluviómetros de prueba (mm).

L_{evap} : Lámina evaporada en los pluviómetros (mm).

2.17. Factores para el uso eficiente del agua de riego

TARJUELO, J.M. (2005), señala que el objetivo que se pretende con el riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el perfil del suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío.

Los factores que se manejan para proveer a los cultivos del agua que necesitan para que su productividad sea óptima, son principalmente: energía, agua, mano de obra y sistematización o equipamiento, existiendo

una completa interrelación entre ellos de manera que el utilizar menos un factor, implica mayor necesidad de otros.

El perfeccionamiento del riego obliga a asimilar las nuevas tecnologías para: optimizar el diseño y la construcción de los equipos de riego, mejorar la eficiencia de utilización del agua y la energía, permitir una adecuada mecanización y automatización de la aplicación del agua y demás labores agrícolas, utilizar racionalmente los recursos hídricos de modo que garanticen su propia existencia y la del medio ambiente.

Entre los factores que afectan al uso eficiente del agua en la finca, se encuentran:

a. Factores externos

- ✓ La forma en que se realice el suministro de los caudales a la misma. Cuando la distribución se hace a **turnos** por ejemplo, es frecuente que la disponibilidad del agua no corresponda, en el tiempo o en la cantidad, con las necesidades de los cultivos.
- ✓ La existencia de un **control** en el manejo del agua de riego encaminado a **minimizar las pérdidas** en los sistemas de distribución y conseguir un **uso racional** de las disponibilidades.

b. Factores internos

- ✓ La necesidad de unas **estructuras de control y aforo** de caudales para aplicar los volúmenes deseados en cada parcela.
- ✓ El disponer de la **instrumentación** necesaria para medir la humedad del suelo y de una metodología o un asesoramiento sobre la **programación de riegos**, que indique cuándo regar un cultivo dado y cuánta agua aplicar.
- ✓ Disponer de los medios suficientes para elegir el método de aplicación de agua más adecuado, de acuerdo con los condicionantes existentes, y para realizar el diseño y manejo óptimo de las unidades operacionales de riego con el fin de que, aplicando los caudales convenientes, se logre la máxima uniformidad y eficiencia de riego compatible con los costos económicos que ello conlleva.

2.18. Programación de riegos

GARCIA, I y BRIONES, G. (2007), señalan que programar los riegos es un procedimiento usado para predecir las necesidades de agua de la planta a futuro basándose en las mediciones del estatus de humedad actual en el suelo y en los datos climáticos registrados históricamente. Los datos actuales de la humedad en el suelo nos permiten establecer las condiciones iniciales, y los datos climatológicos disponibles nos permiten extrapolar hacia el futuro dicha humedad en el suelo. Programar los riegos tiene como objetivo mejorar el manejo del agua de tal manera que sólo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria. Dando como resultado una mejora inmediata en el total de la cantidad de producto cosechado, al aumentar las áreas bajo riego en regiones con escasez de agua; corregir problemas de drenaje por el exceso en la aplicación de agua y reducir la pérdida de nutrientes por la percolación profunda en regiones con excedente de agua. La práctica de la programación de los riegos hace un agudo contraste con el proceso de regar con un predeterminado intervalo. Las definiciones relacionadas a la programación de riegos son la Transpiración, Evapotranspiración, Uso consuntivo, Requerimiento de agua de las plantas y las Necesidades de riego. La evapotranspiración es el factor básico para determinar los requerimientos de agua del cultivo. Debe considerarse previamente qué tanta agua se debe aplicar y cuándo aplicarla. El proceso involucra:

- Para cada periodo desde el último dato conocido de la condición en la humedad del suelo, calcule la evapotranspiración que ocurre en el campo.
- Reste la evapotranspiración de campo al contenido de humedad del suelo del último dato conocido para actualizar el estatus de humedad en el suelo.
- Si la depleción de la humedad en el suelo es mayor o igual al valor establecido de depleción permisible de la humedad, inicie un riego, si no es el caso.

LOPES (2001), Denuncia que la programación de riego permite decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, y su importancia se pone en manifiesto cuando el agua es escasa. Es necesario realizar una programación adecuada del sistema de riego, asegurando el agua en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

Los factores tomados en cuenta para la programación son: necesidades de los cultivos (costumbres de riego), tipo de suelo (cantidad de agua disponible, capacidad de infiltración), clima (precipitaciones, vientos, evaporación), calidad de agua (física, química), condiciones del suministro del agua (descarga, presión, horario), topografía y forma del terreno, red existente, mano de obra.

2.19. Condiciones climáticas y técnicas

TARJUELO (2005), refiere que Christiansen, cuando se refiere a la uniformidad de distribución del agua de los aspersores, concluye que ésta varía mucho según la presión, viento, rotación del aspersor, espaciamiento entre aspersores y otros factores secundarios.

Viento: KELLER (1983), enuncia que la acción del viento disminuye la uniformidad, ya que modifica la longitud del chorro y la pluviometría a lo largo de éste. Para obtener una buena distribución del agua, se suele disminuir la distancia entre aspersores en la dirección del viento dominante. Bajo este contexto, el viento representa el enemigo número uno en la operación de los aspersores, influyendo en:

- La distorsión de la uniformidad de distribución del agua.
- El incremento de la evaporación, ocasionando un aumento en la concentración de sales del agua de riego.
- Los entornos de velocidades del viento comunes en riego por aspersión son: 01, m/s. (condiciones de viento), 1,0 – 2,5 m/s. (viento medio) y 2,5 - 4,0 m/s. (viento fuerte). Por encima de 4,0 m/s. (viento muy fuerte), el Riego por aspersión no es recomendable. El viento influye en la no uniformidad de la distribución del agua por los aspersores.

Presión: LUJAN, (1992), refiere que el conocimiento del nivel de presión es imprescindible para el correcto funcionamiento del equipo de riego, también es necesaria por dos motivos: la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debemos regar y teniendo en cuenta que el agua debe llegar al mismo tiempo y a la misma presión a las bocas donde se encuentran instalados los mecanismos de difusión (aspersores) con el fin de conseguir un riego uniforme. La segunda razón es que la presión del agua debe ser capaz de poner en marcha todos los aspersores al mismo tiempo, bien sean fijos o móviles, más pulverizado o menos.

Cada aspersor funciona en forma eficiente en un entorno de presiones de trabajo recomendadas. En este entorno, la distribución es mejor y el aspersor trabaja con una alta eficiencia y bajo desgaste. En general, a medida que aumente la presión, dentro del límite especificado, se incrementará la calidad de distribución. También, cabe mencionar que a medida que aumenta la presión también aumenta la velocidad de rotación del aspersor, influyendo éste en la rapidez con que las gotas llegan al suelo, es decir una baja presión hará rotar el aspersor lentamente, y las gotas pulverizadas llegarán muy lentamente al suelo favoreciendo esto a la evaporación de las mismas.

2.20. Glosario de términos

PÉREZ, R (2009), menciona ciertos criterios que se tiene que tener en cuenta en una ejecución de riego por aspersión.

A. Régimen de riego

El régimen de riego incluye el volumen de agua que requiere durante su ciclo de acuerdo a las condiciones climáticas o el que es posible suministrar, depende de las normas parciales, intervalo entre riegos, disponibilidad de agua, características del suelo y valor de humedad mínima para aplicarlo así como la técnica a utilizar.

B. Numero de riego

Es la cantidad de veces que es necesario aplicar agua a los cultivos hasta alcanzar la capacidad de campo.

C. Intervalo de riego

Es el tiempo en que el cultivo consume el agua aplicada en un riego y se determina por la relación entre la norma neta parcial y la evapotranspiración diaria cuando no ocurren lluvias. Como esta última es variable a través del ciclo vegetativo los intervalos de riego también serán variables ocurriendo los mínimos durante los meses de mayor evapotranspiración.

D. Eficiencia de aplicación

Es la relación entre el agua que queda realmente almacenada en el suelo y el agua bombeada. No toda el agua bombeada llega al suelo, debido a que existen pérdidas por efecto del viento, la evaporación, salideros en el sistema de riego.

E. Dosis parcial neta de riego

Es el agua que necesitan los cultivos para lograr un desarrollo óptimo, En otras palabras es el agua que la planta necesita para vivir.

F. Dosis parcial bruta de riego

Es la cantidad de agua que necesitan los cultivos más las pérdidas por el efecto del viento, evaporación, salideros, etc. La norma bruta se obtiene de dividir la norma neta entre la eficiencia de aplicación.

G. Intensidad de aplicación

Es la intensidad media con que cae el agua sobre el cultivo, se mide en milímetros por hora. La intensidad de aplicación depende del tamaño de los aspersores, la presión de funcionamiento y la distancia entre los aspersores. Al elegir un sistema de aspersión conviene asegurarse de que la intensidad media de aplicación es inferior a la velocidad básica de infiltración del suelo. De esta manera toda el agua aplicada será absorbida fácilmente por el suelo y no habrá escorrentía.

H. Radio de alcance

El radio de alcance, es la distancia que recorre el chorro principal del aspersor, medida desde la base de este, con el equipo detenido (sin girar), en condiciones de viento cero. Este parámetro es de gran importancia pues

va a determinar el espaciamiento a utilizar en el campo, entre aspersores y laterales.

I. Lluvia del aspersor

La lluvia del aspersor se puede caracterizar de dos formas:

- ✓ **Calidad de lluvia:** En un aspersor, de acuerdo a la presión de trabajo y al diámetro, se producirán gotas de diferente tamaño. Las gotas gruesas afectan al suelo y al cultivo y se concentran en una zona del radio de alcance, produciendo baja uniformidad en la lámina de agua aplicada. Las gotas finas por otra parte, son arrastradas fácilmente por el viento contribuyendo a la disminución de la uniformidad de distribución.
- ✓ **Intensidad de lluvia:** La intensidad es la lámina de lluvia aplicada en la unidad de tiempo.

J. Pluviometría del aspersor

Es la altura de agua aportada sobre el terreno en la unidad de tiempo, no debe ser mayor que la conductividad hidráulica del terreno, que debemos conocer para evitar encharcamiento ni provocar escorrentía.

K. Aspersores y boquillas

SHANI Y SAPIR (1984), refiere que los aspersores y boquillas también influyen en el perfil de distribución basándose en su diseño y medidas que presentan. La mayoría de aspersores de doble boquilla proporcionan un modelo triangular de humedecimiento, cuando funcionan en condiciones óptimas y viento tranquilo.

El diseño y medida de boquillas, juntamente con la presión de operación del aspersor, van a influir en la descarga, forma de dispersión del agua y en el tamaño de las gotas.

L. Calidad del agua para riego

FRAGOZA D. F (2010), se define por una o más características físicas, químicas o biológicas que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico. El entendimiento de la relación causa y efecto entre un

componente del agua y el problema resultante, permite evaluar su calidad y determinar su grado de aceptabilidad.

Con la información acumulada de experiencias y resultados medidos, se han propuesto indicadores de problemas relacionados con la calidad del agua. Ordenando las características de estos indicadores se preparan directrices técnicas para determinar la conveniencia en el uso del agua de una determinada calidad.

Las directrices se refieren sobre todo a los efectos a largo plazo de la calidad del agua en la producción de cultivos, las condiciones del suelo y el manejo agrícola.

Todas las aguas que se utilizan para riego de cultivos agrícolas contienen en solución mezclas de sales que proceden de la meteorización de los minerales y de las rocas que constituyen la corteza terrestre. Los tipos de sales que se encuentran con mayor frecuencia en suelos y aguas son: el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de magnesio (MgCl_2), sulfato de magnesio (MgSO_4), sulfato de sodio (Na_2SO_4), sulfato de calcio (CaSO_4), sulfato de potasio (K_2SO_4), carbonato de sodio (Na_2CO_3), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3)

Entre las sales más solubles se tienen el cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de magnesio (MgCl_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y cloruro de sodio (NaCl), y son removidas por completo de los suelos por los extractos acuosos (cuando se asegura una percolación de la solución del suelo). Las sales de más baja solubilidad como el sulfato de sodio (Na_2SO_4) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) pasan de manera incompleta a los extractos acuosos, cuando estas se encuentran de manera considerable en los suelos. En cambio las sales como el sulfato de calcio (CaSO_4), carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3) se disuelven en cantidades muy pequeñas.

En cuanto al grado de toxicidad fisiológica con respecto a los cultivos se tiene el siguiente orden: carbonato de sodio > bicarbonato de sodio > cloruro de sodio > cloruro de calcio > sulfato de sodio > cloruro de magnesio > sulfato de magnesio.

En términos generales la concentración de sales en agua de riego, al pasar a formar parte de la solución del suelo, después de los procesos de evapotranspiración, aumenta alrededor de 10 veces cuando el suelo está a capacidad de campo y 5 veces en el extracto de saturación. Por lo que los contenidos permisibles de las sales en el agua de riego, son menores en alrededor de 5 veces que en el extracto de saturación.

Cuadro N° 03: Efecto de concentración de sales en agua de riego

Sal	Ocurrencia	Origen	pH de la solución	Toxicidad para las plantas	Efecto en el suelo
Carbonatadas					
CaCO ₃	Agua de ríos, freáticas y subterráneas. Frecuentemente en suelos de estepas	Derivada de los procesos de intemperismo en rocas sedimentarias y de aguas freáticas.	Alcalino	No tóxica	Concreciones, espesores endurecidos.
MgCO ₃	Agua de ríos, freáticas y subterráneas. Frecuentemente en suelos de estepas	Derivada de procesos de intemperismo.	Alcalino	Tóxica	Exceso o nulo
Na ₂ CO ₃	Agua superficiales y subterráneas. En suelos que no tienen yeso.	Como consecuencia de procesos de reducción y de la mineralización de residuos vegetales en zonas áridas y semiáridas	>12	Muy tóxica	Baja permeabilidad. Propiedades físicas de los suelos muy pobres.
Bicarbonatadas					
Ca(HCO ₃) ₂	En todas las regiones. En aguas freáticas y subterráneas.	Por disolución del CaCO ₃ en espesores sedimentarios.	Ligeramente alcalino	No tóxica	Bajo grado de peptización.
Mg(HCO ₃) ₂	En todas las regiones. En aguas freáticas, subterráneas y superficiales.	Por disolución del MgCO ₃ en aquellos minerales que lo contienen	Ligeramente alcalino	No tóxica	Afecta el régimen de movilidad del magnesio en los suelos.
NaHCO ₃	En todas las regiones. En aguas freáticas, subterráneas y superficiales. En sedimentos y en soluciones de suelo.	Disolución de soda, trona y necoíta.	Alcalino	No tóxica	Bajo grado de peptización.
Sulfatadas					
CaSO ₄	En regiones desérticas y semidesérticas. Agua freáticas y subterráneas	Algunas veces como consecuencia del intemperismo.	Ligeramente ácido	No tóxica	Forman moteados transparentes. Espesores compactos.
MgSO ₄	En regiones desérticas y semidesérticas. Agua freáticas y subterráneas	Como consecuencia del intemperismo.	Ligeramente ácido	Muy tóxica	En los suelos se acumula en combinación con otras sales solubles.
Na ₂ SO ₄	En regiones desérticas y semidesérticas. Agua freáticas y subterráneas salinas.	Parcialmente derivada de productos del intemperismo y de origen magnético.	Cercano a la neutralidad	Tóxica	En los suelos se acumula en combinación con otras sales solubles. El lavado se debe realizar en períodos secos.
Cloradas					
CaCl ₂	Agua de lagos salinos. Acuíferos de gran profundidad.	Origen parcialmente magmático y de los procesos de intemperismo	Ligeramente ácido	Tóxica en altas concentraciones	Se puede presentar solamente en salinidades muy altas.
MgCl ₂	Es muy común en aguas freáticas salinas y lagos salinos	Origen parcialmente magmático y de los procesos de intemperismo	Cercano a la neutralidad	Muy tóxica	Muy higroscópicas cuando se encuentra simultáneamente con el CaCl ₂ .
NaCl	Agua de mar. Sedimentos marino. Areas costera. Agua salinas superficiales y freáticas, y suelos de los desiertos y semidesiertos	Origen magmático. Muy raro que sea de origen derivado de los procesos de intemperismo	Neutral	Muy tóxica	En ausencia de yeso ocurre en el suelo una alcalinización.

Existe una relación entre la conductividad eléctrica (CE) y la cantidad de sales disueltas en el agua, que aunque no es lineal, proporciona una idea de la concentración de sales en el agua. La conductividad eléctrica, expresada en µmhos/cm y multiplicada por 0.64 es aproximadamente igual al total de sales disueltas (STD) en ppm en el agua, cuando la temperatura es de 25 grados centígrados.

Dicha relación es válida para valores de la conductividad que van de 100 a 5000 $\mu\text{mhos/cm}$. La CE y los sólidos disueltos, dan sólo una idea de la calidad del agua, ya que la salinidad no depende únicamente del contenido de sales sino además del tipo de elementos disueltos.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para la clasificación del agua con fines de riego considera la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio (RAS). Definida esta última como relación entre el contenido de sodio y la raíz cuadrada del contenido promedio del calcio y magnesio, esto es:

$$\text{RAS} = \frac{C_{\text{Na}^+}}{\sqrt{\frac{C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}}}{2}}}$$

Figura N° 06: Diagrama de USDA para clasificar el agua con fines de riego

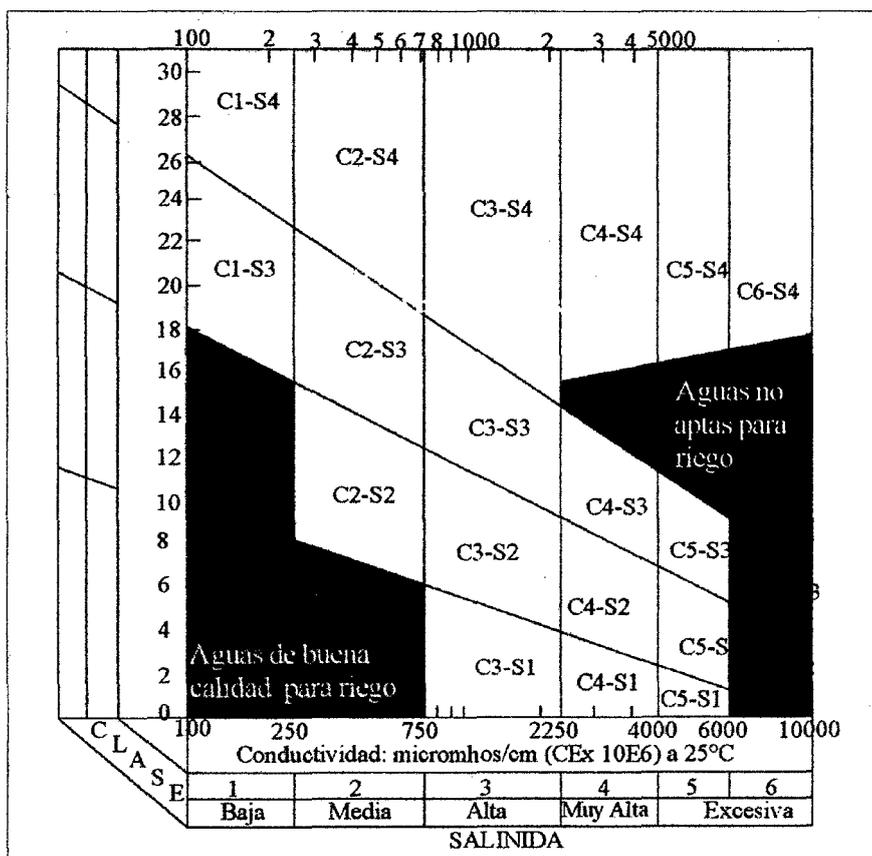
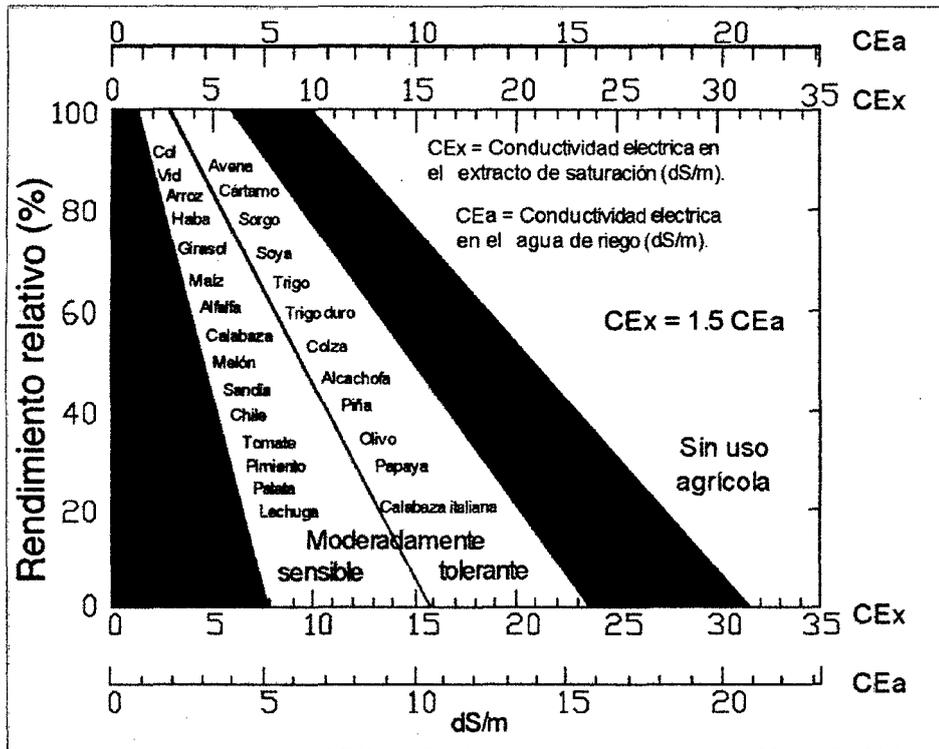


Figura N° 07: Tolerancia relativa a la salinidad de cultivos



No todos los cultivos responden de igual manera a la salinidad, algunos producen rendimientos aceptables a niveles altos de salinidad y otros son sensibles a niveles relativamente bajos. La tolerancia de algunos cultivos puede alcanzar valores entre 8 a 10 veces la tolerancia de otros.

También se presentan problemas de toxicidad cuando ciertos elementos del suelo o del agua son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos en concentraciones lo suficientemente altas, como para provocar daños y reducir sus rendimientos. Los iones de mayor importancia asociados con problemas de toxicidad y desbalances nutricionales son el cloro, el sodio y el boro.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL MÓDULO DE RIEGO EN INVESTIGACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

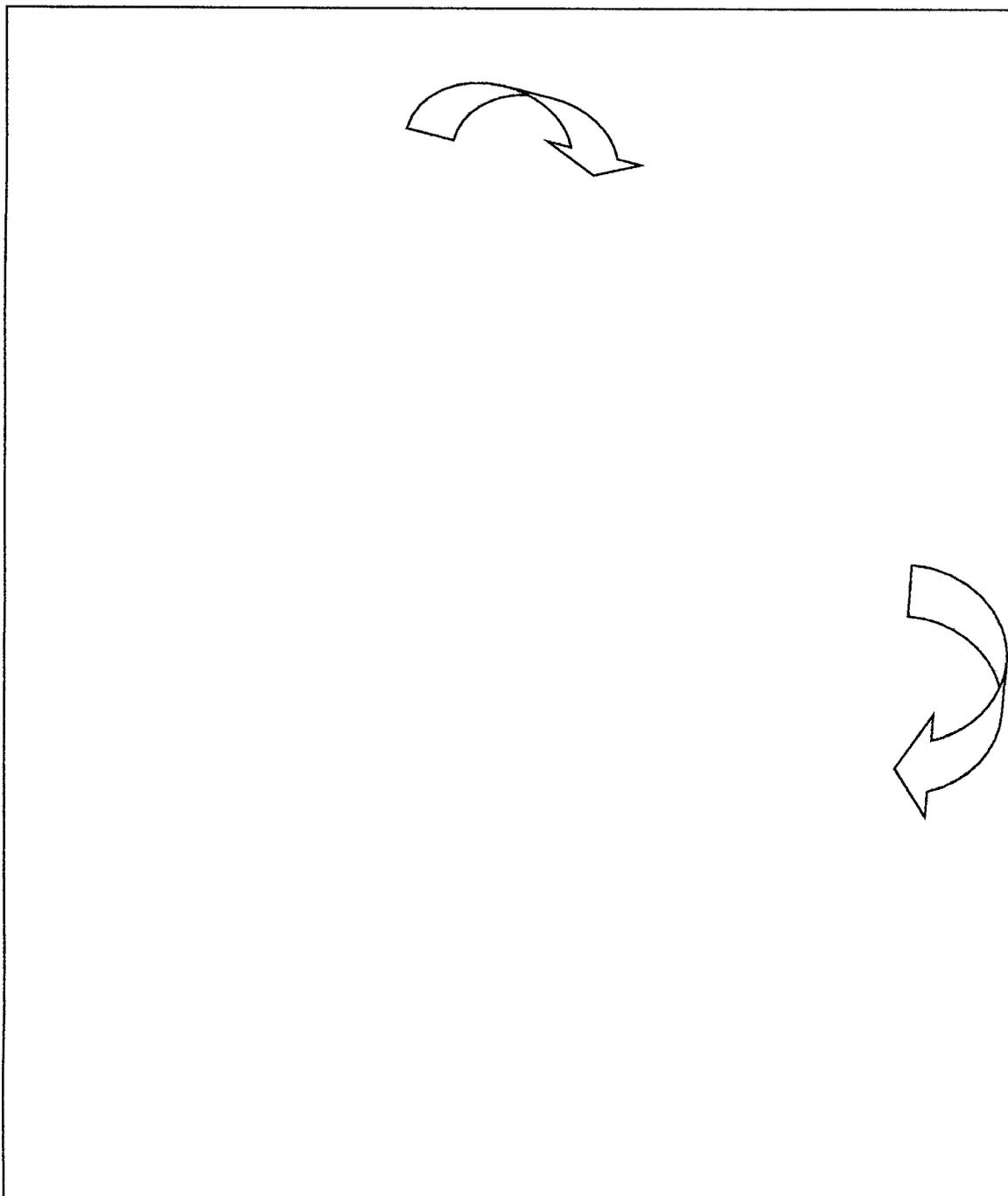
Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Socos
Localidad : Pacuri

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA: Coordenadas UTM

Latitud : 13 ° 12' S
Longitud : 74°16' W
Región natural : Sierra
Zona de Vida : Estepa Espinoso Montaña Bajo Subtropical

La zona de estudio se halla ubicada en la hoja Ayacucho de la Carta Nacional perteneciente al I.G.N. correspondiente al cuadrángulo de 27-ñ.

Figura N° 08: Ubicación geográfica del distrito



3.2. Acceso

El área del proyecto se encuentra al lado oeste de la ciudad de Ayacucho a solo 25 minutos de viaje por la carretera vía Los Libertadores, mediante una vía pasando el peaje de la zona, a partir de

ello se toma un desvío para la comunidad de Pacurí la cual es una trocha carrozable hasta llegar al pueblo.

3.3. Información del área de investigación

El sistema de riego por aspersión se encuentra ubicado en la comunidad de Pacurí dentro de la jurisdicción del distrito de Socos, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Geográficamente se encuentra entre los 13° 12' 46.07" de latitud sur y 74° 15' 42.21" de latitud Oeste y a una altitud de 3426 msnm.

La comunidad de Pacurí tiene un área cultivada total de 31.10 Ha el área de investigación se encuentra en el sub-sector de riego I (12.70Ha) en todo el Proyecto el sistema de riego está instalado mediante laterales fijos con un tipo de aspersor silver sectorial de bronce de 3/4", el cual beneficia a un sector de la comunidad de Pacurí.

El proyecto fue culminado en el mes de agosto del 2013, fecha desde el cual no se realizó ningún tipo de evaluación sobre el funcionamiento del sistema, para verificar si cumplen con los objetivos trazados con capacitaciones del manejo de los equipos de riego.

3.4. Información de las parcelas

Las parcelas evaluadas cuentan con una superficie cultivada de 0.18Ha y 0.12Ha con producción de maíz, cebada, alfalfa, papa, etc., presentando pendiente moderadas de 5% a 14%. Se ha uniformizado la extensión de las parcelas en todo el proyecto con la finalidad de contar con un solo tiempo de riego para todos los usuarios.

3.5. Equipos y materiales de investigación

3.5.1. Relación de equipos y materiales utilizados: Se clasificará en:

Equipo de riego

- ✓ Aspersor silver sectorial de bronce de 3/4"
- ✓ Llaves de paso
- ✓ Manguera de polietileno

Equipo de medición

- ✓ Manómetro de glicerina de 6 atmósferas

- ✓ Recipiente de plástico de 12cm de diámetro y 15cm de altura (pluviómetros).
- ✓ Bidón de plástico 18 litros para aforar los aspersores
- ✓ Cronometro
- ✓ Regla de 30cm
- ✓ Cinta métrica de 5m

Equipo de laboratorio de suelos

- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Tamices
- ✓ Copa Casagrande
- ✓ Equipo de tamización
- ✓ Espátula
- ✓ Taras

Materiales

- ✓ Bolsa plástica
- ✓ Pico, pala
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Libretas de Campo

3.5.2. Disponibilidad de personal de apoyo

Para la realización de las diferentes pruebas de campo se contó con el apoyo del personal capacitado, conjuntamente con el equipo se realizaron las siguientes actividades:

- ✓ Prueba de laboratorio de mecánica de suelos
- ✓ Recolección de muestras de suelos (calicatas)
- ✓ Purga de todos los emisores
- ✓ Manejo de válvulas
- ✓ Traslado e instalación de los emisores
- ✓ Medición de los caudales de los emisores
- ✓ Medición de las pérdidas de carga en los puntos de interés.

3.6. Elección del área de terreno

Se estableció considerando algunos de los siguientes factores determinantes:

- ✓ Ubicación de la fuente de agua y punto de captación, con respecto a la parcela.

- ✓ Diferencia de cota permisible entre la cámara de carga y el área superior del terreno a ser irrigada.
- ✓ Distancia de los puntos críticos entre la cámara de carga y la parcela de riego.
- ✓ Pendiente longitudinal, transversal y uniformidad topográfica de la parcela a ser irrigada.
- ✓ Antecedentes de la parcela a ser irrigada: cultivos establecidos, tipo de riego practicado, etc.

Con estas consideraciones, el área de terreno donde se encuentra ubicado el sistema de riego presurizado, está dividido en **tres sectores de riego**; un primer sector de riego I con 12.70Ha, el segundo sector de riego IIA con 9.71Ha y el tercer sector de riego IIB con 7.96Ha, en conclusión la diferencia de cota del área del terreno a ser irrigada es de 41m entre la cabecera y la parte final del terreno, sin embargo, la cámara de carga 1 se encuentra ubicado en la cota 3612m.s.n.m. y la cámara de carga 2 se encuentra ubicado en la cota 3610 m.s.n.m. La parcela a ser irrigada tiene pendiente transversal uniforme con algunas depresiones y elevaciones mínimas y la pendiente longitudinal varía entre 5 y 14%.

Las limitaciones encontradas en el presente proyecto son: una primeraes en la calidad del agua que viene dela presa Cuchuquesera, que contiene arcillas, limos y material en suspensión por la misma naturaleza de conducción.

3.6.1. Descripción de las componentes del módulo de riego

a. Sistema de Captación:

Está compuesto por Tomas laterales para caudales de 6-11 l/s, ubicados a lo largo del Canal Lateral Socos y canales sub-laterales que atraviesan lacomunidad, el cual está constituido por una toma de doble compuerta y una poza de captación que derivará el agua hacia las cámaras de carga.

Las tomas laterales permitirán captar el caudal del canal laterales que cuentan con un aforo de 3.6m³/h. Estas tomas cuentan con pozas de captación para derivarlos a las cámaras de carga.

La estructura es de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ para el muro, losa, techo y fondo. La instalación de dos compuertas metálicas, uno tipo izaje y el otro tipo tarjeta. La tubería que une la poza con las cámaras de carga es de una tubería PVC SAL UF 160mm S-25.

b. Sistema de Regulación:

Está constituido por las Cámaras de Carga, para regular los caudales de entrada (desde las tomas laterales) y los caudales de salida (de acuerdo a la demanda hídrica desde los hidrantes de riego) durante las horas de operación de los sistemas de riego (6 horas).

La estructura de las cámaras de carga son de concreto armado $F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$. Además, tienen sus respectivas cajas de válvulas con sus respectivos accesorios y sus tapas metálicas. El rediseño de dicha cámara se adjunta en el anexo I.

c. Sistema de distribución:

La línea de distribución tiene longitudes 7,269 m, presentando en su recorrido unas pendientes variables ocasionados por la fricción y pérdidas por bifurcación. El diámetro del diseño varía entre 90mm, 75mm, 63mm, 1 ½" y 1" (Norma ISO 4422) con la que tendrá que transportar el caudal necesario para cumplir con los requerimientos hídricos del sistema de riego presurizado. La tubería a utilizar es de PVC SAP de clases C-10, C-7.5 y C-5.

Los diseños de las tuberías obedecen a un diseño estrictamente para las condiciones de demanda de un sistema de riego presurizado donde los consumos son diferentes para cada tramo donde se encuentran los hidrantes y los caudales circulantes en las tuberías son de acuerdo al consumo de cada hidrante del sistema.

d. Sistema de control y operación:

El sistema de control y operación lo conforman las diversas estructuras hidráulicas a lo largo de las líneas de distribución de las redes de riego.

Dentro de estas estructuras tenemos: 02 cámaras rompe presión, 03 válvulas de control, 05 las válvulas de purga, 04 las válvulas de aire y los laterales de riego.

e. Hidrantes fijos

Son los puntos de conexión de una línea de riego en las parcelas a regar que a través de sus salidas permiten unir las líneas laterales con la finalidad de entregar el agua hacia los laterales de riego, su funcionamiento se regula a través de válvulas de acople rápido que se encuentran instalados en la parte superior de los pedestales fijos.

f. Válvulas de Purga

Estas válvulas se encuentran ubicadas al final de la red, su disposición tiene como fin la eliminación de residuos sólidos, tanto el sector I, IIA y IIB cuenta con cinco válvulas de purga que se encuentra ubicado al final de la línea de distribución.

g. Módulos de riego por aspersión

Constituido por siguientes componentes:

g.1. Líneas de riego móvil, Constituida por un trípode flexible de metal P/aspersores de $\frac{3}{4}$ ", manguera de PE de 32 mm C-4, con sus acoples y aspersores propiamente dichos.

g.2. Laterales de riego, se tiene registrado 40 hidrantes para lo cual se necesitará mangueras PE de 32 mm C-4 y accesorios.

El sistema hidráulico del proyecto, está constituido por 03 sectores de riego y por una serie de obras de infraestructura de riego, captaciones, líneas de conducción, obras de regulación (cámara de carga 15m³), hidrantes, válvulas de control y purga, que irrigara a 31.10Ha netas en el sector evaluado. El esquema hidráulico del sistema se detalla en el plano RD-01.

3.6.2. Marco de investigación:

Para poder definir el marco de investigación del presente proyecto se realizó por medio de dos fases que son las siguientes:

- **Fase de campo**

Esta fase es la verificación del lugar de investigación con los siguientes pasos:

- Reconocimiento de terreno
- Recopilación de datos
- Obtención de muestras de suelo

- **Fase de gabinete**

En esta fase se procederá a realizar cada uno de los cálculos matemáticos y obtención de resultados de pruebas de laboratorio en forma ordenada.

Se procedió a realizar:

- Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos
- Calculo de C.U y eficiencia de aplicación
- Cálculos agronómicos e hidráulicos

3.7. Procedimiento de campo

3.7.1. Verificación del C.U y Eficiencia de aplicación:

- Se hizo un diagnóstico del sector I del sistema de riego, se verificó la existencia de fugas en la red de distribución.
- Se procedió a realizar 06 pruebas de C.U por el método de vasos pluviométricos en dos sub sectores de riego característicos de la zona y por medio de hojas de cálculo también hallaremos la eficiencia de aplicación de riego.

3.7.2. Verificación y análisis del planeamiento del sistema el diseños agronómicos e hidráulicos, operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego:

a. Verificación y análisis del planteamiento del sistema de riego

Se procedió a hacer un análisis del sistema diseñado esta acorde al expediente técnico verificando que los componentes diseñados y

demás cálculos. Posteriormente con los cálculos obtenidos se realizara un planteamiento adecuado del sistema de riego.

b. Diseño agronómico del sistema

El cálculo del diseño agronómico depende de una serie de aspectos que se mencionan a continuación:

- **Suelo:** Las áreas en estudio se encuentran en el sector I, y este sector cuenta con área de 0.18Ha y 0.12Ha. En este sector del sistema de riego se tomó muestras de suelo para su respectivo análisis, el recojo de las muestras se hizo de manera que se abarque todo el área de riego para obtener una muestra representativa y homogénea a una profundidad de 30 a 40cm.
- **Recurso hídrico:** El recurso hídrico a utilizarse en el estudio, proviene de la presa Cuchoquesera; del canal lateral de Socos, del cual se tomara un caudal de 3.6 m³/h, con el cual se garantizará la demanda hídrica del cultivo.
- **Frecuencia de Riego:** Se verifico la cantidad de agua necesaria para aplicar al cultivo, la frecuencia con que se regara las parcelas en conclusión la necesidad de agua que requiere el sistema para su optimo uso, obteniéndose los cálculos agronómicos efectuados. (Anexo B)
- **Necesidad hídrica del cultivo:** Se realizó el cálculo de la necesidad hídrica para todo el sistema de riego con cultivos característicos de la zona teniendo mayor incidencia en el alfalfa y arveja, teniendo la opción de tener la presencia de brote de pastos naturales mediante el procedimiento siguiente:

i. Evapotranspiración potencial de la zona:

Las necesidades hídricas de los cultivos fueron estimados en base a los parámetros climatológicos de la zona. Se utilizó el Método de Hargreaves, en función a Porcentajes de horas de sol posibles, radiación

extraterrestre y temperatura. Utilizando datos del Anexo J y los cuadros de los cálculos se adjuntan en el Anexo F.

ii. Factor del cultivo (Kc)

En el expediente inicial el diseño del sistema se tomó en cuenta solo un cultivo en este estudio se tomara en cuenta cultivos anuales característicos de la zona que se siembran en la mayoría de áreas de cultivo de la comunidad de Pacuri para lo cual las cédulas de cultivo tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo, para lo cual será necesario el uso de la siguiente expresión:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad [45]$$

Donde:

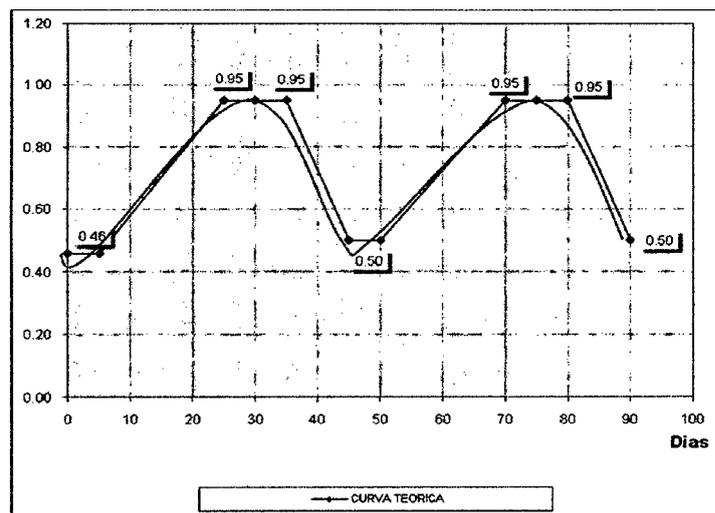
Kc : Coeficiente del cultivo

ETc : Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

ETo : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

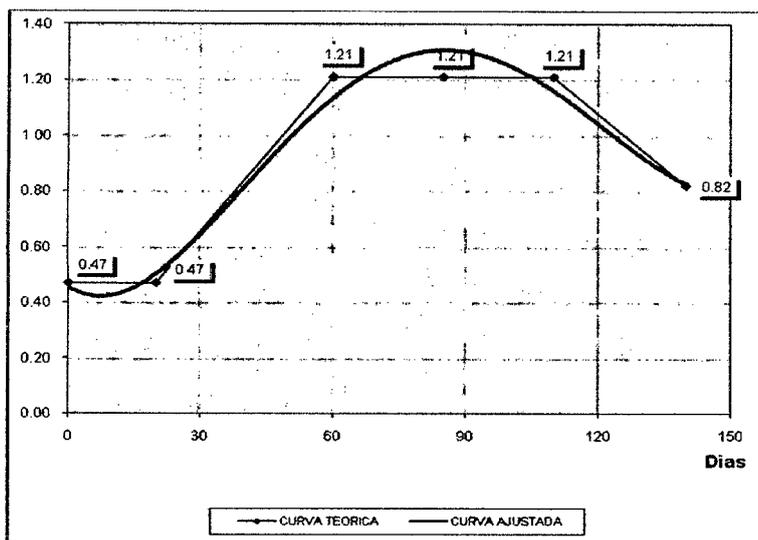
Las figuras N° 09 y 10 muestra los coeficientes de cultivo del alfalfa y arveja que varían de acuerdo a las etapas de desarrollo, para la etapa inicial el (Kc ini) fue de 0.46 y 0.47, la etapa de mediados de temporada (Kc med) es de 0.95 y 1.21 siendo la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final (Kc fin) 0.50 y 0.82 respectivamente.

Figura N° 09: Curvas de coeficiente de cultivo de alfalfa



Fuente: FAO-56

Figura N° 10: Curvas de coeficiente de cultivo de arveja



Fuente: FAO-56

iii. Precipitación Efectiva

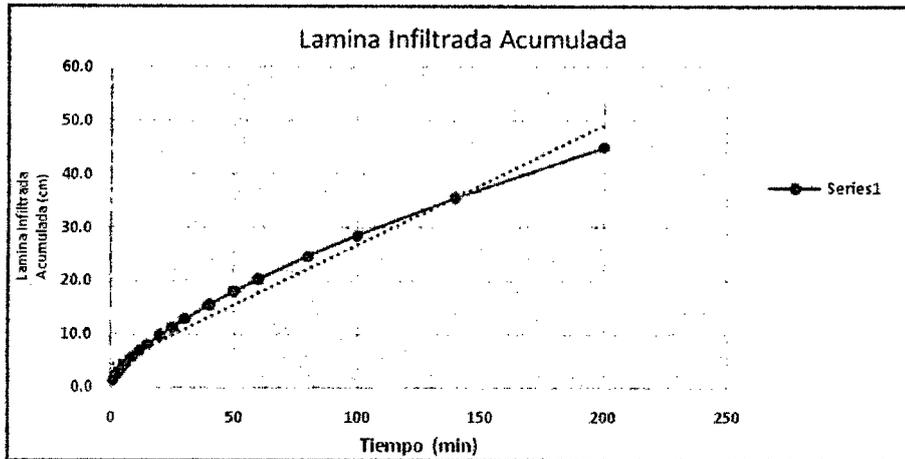
Se determinó la precipitación efectiva con los datos de la estación meteorológica de Pucaloma, considerando una precipitación efectiva al 75% de probabilidad de lluvia.

La estación meteorológica de Pucaloma se encuentra a una altura 3,493m.s.n.m. y entre las coordenadas geográficas, latitud 13°12'21.48"S y longitud 74°17'57.48"O, los años de registros tomados a la estación son de 20 años antes del trabajo de evaluación, ver Anexo N° J.

iv. Lamina de infiltración (Ib)

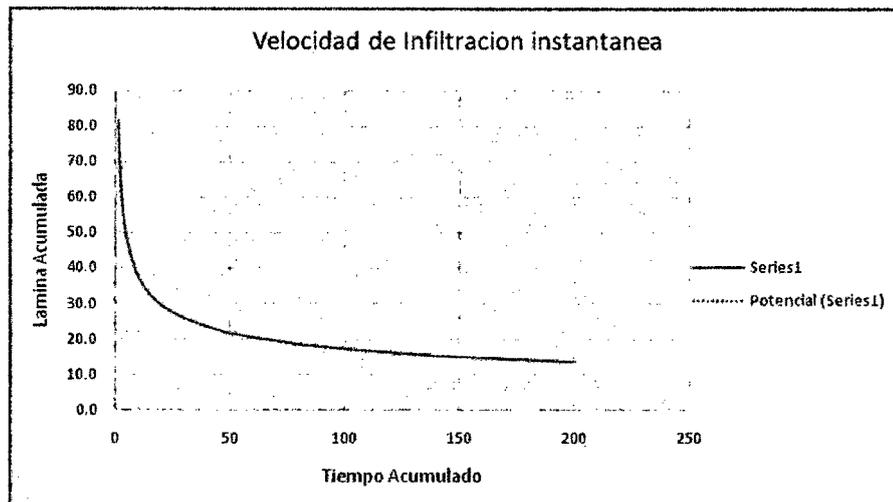
La infiltración básica se determinó mediante el método del cilindro infiltrómetro. Para realizar la prueba se buscó lugares representativos en los terrenos de estudio, del cual se desea conocer las características de velocidad infiltración del suelo. Se utilizó el método estadístico de los mínimos cuadrados:

Figura N° 11: Lámina infiltrada acumulada



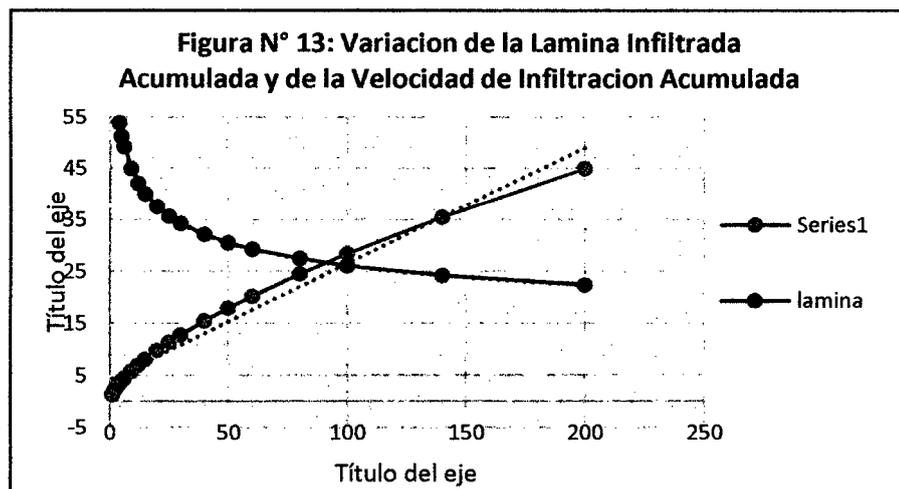
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12: Velocidad de Infiltración Instantánea



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 13: Variación de la Lámina Infiltrada Acumulada y de la Velocidad de Infiltración Acumulada



Fuente: Elaboración Propia

El diseño agronómico del riego comprende:

- ✓ Cálculo de la demanda de agua de los cultivos.
- ✓ Cálculo de las necesidades de riego.
- ✓ Determinación de la dotación o dosis de riego (lámina requerida).
- ✓ Elección del marco de los aspersores.
- ✓ Cálculo del intervalo de riego (tiempo el primer y segundo riego).
- ✓ Cálculo de las horas de riego por turno
- ✓ El número de aplicaciones de riego en un tiempo determinado (frecuencia de riego).
- ✓ Determinación del ciclo de riego.

c. Diseño hidráulico del sistema

Los componentes del sistema hidráulico para el trabajo de investigación fueron rediseñados siguiendo criterios técnicos. Los cálculos hidráulicos de la cámara de carga, la red de distribución, los laterales de riego fueron rediseñados de acuerdo al caudal disponible. Para realizar el rediseño hidráulico se realizó tipos de pruebas que se detallan en el anexo D.

d. Operación, mantenimiento y manejo del modulo de riego

Dentro de la operación, mantenimiento y manejo del sistema de riego se considero los parámetros como:

- Cédula de cultivo y área de riego.
- Caudales mensuales de riego y caudal máximo de captación.
- La cantidad de familias beneficiadas.
- Planteamiento de las obras de ingeniería y la eficiencia del sistema de riego – gráfico del esquema hidráulico.
- Modalidades de distribución del agua entre los usuarios.
- Modalidades de aplicación del riego y módulo de riego.

Al tener los parámetros descritos anteriormente se procede con evaluar el buen manejo del proyecto teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Si la infraestructura de riego es adecuada a los requerimientos técnicos, económicos, operativos y de mantenimiento.
- Con el estudio de ingeniería realizado plantear alternativas viables.
- Al determinar el tipo de riego que puede ser permanente o estacional que sea de plena satisfacción de la demanda de agua de los cultivos.
- Sistema de operación y mantenimiento (O + M), adecuado a las características sociales, culturales y económicas de la población beneficiaria.

3.7.3. Programación de riego

La programación del riego se realizó, determinando el régimen de riego de los cultivos, teniendo en cuenta los cálculos de C.U y Eficiencia de aplicación y también los diseños agronómicos e hidráulicos para lo cual se tuvo que obtener los siguientes datos: lámina de riego, la dosis bruta y el intervalo de riego, datos iniciales sobre el clima, suelo, parcela, y el tipo de sistema de riego a utilizar. Según que los resultados están en el anexo B.

3.8. Método de investigación

3.8.1. Evaluación de coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación

Para la evaluación de cada uno de los parámetros que intervienen en el coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación como la velocidad del viento, presión de operación, caudal de emisores, coeficientes hídricos del suelo, profundidad de raíces, se ha seguido una secuencia de trabajos que han permitido, bajo

condiciones óptimas de operación, obtener resultados cuyos valores permitirán un buen manejo del sistema.

3.8.2. Características de la evaluación

a. Ejecución de las pruebas en el área de riego seleccionado

Las pruebas de coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación de los equipos de riego instalado, se realizaron en los meses de abril a junio del 2015, ejecutándose durante este tiempo 6 pruebas de Coeficiente de Uniformidad y evaluaciones de eficiencia de aplicación y pruebas de láminas infiltradas, haciendo un total de 7 pruebas. Las parcelas evaluadas se seleccionaron de acuerdo a la presión de operación del sistema del sub sector I de riego, teniendo estas una presión promedio de 31.19 mca.

Las primeras evaluaciones fueron la de Coeficiente de Uniformidad, cuando la parcela aun no tenía cultivo, realizándose una prueba de acuerdo al turno de riego que son asignadas por el comité de riego del distrito de Socos a cada una de las parcelas evaluadas. Luego se procedió a la evaluación de eficiencia de aplicación (láminas infiltradas).

a.1. Disposición del equipo de riego: Se instaló el equipo de riego en la parcela a ser evaluada de acuerdo a los criterios técnicos mencionados. Se colocaron accesorios como niples, manguera, trípode y finalmente los aspersores, para tener instalado el lateral de riego con 2 aspersores.

a.2. Disposición de los pluviómetros: El establecimiento de los pluviómetros en la parcela se realizó de acuerdo a la disposición del lateral de riego. En tal razón que los vasos pluviométricos se han colocado a ambas partes del lateral de riego, contando con 22 filas y 22 columnas y un total de 480 vasos pluviométricos evaluados; estos vasos fueron colocados estratégicamente al costado del cultivo, en un marco de 2 x 2 m.

a.3. Ejecución de la prueba: Bajo la metodología descrita en los ítems anteriores, las evaluaciones de coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación se ejecutaron en tres oportunidades:

- La primera evaluación nos permitió obtener el coeficiente de uniformidad (CU) en base a las pruebas de pluviometría. Se realizó en la zona evaluada con los cultivos evaluados (alfalfa y arveja); cada prueba tuvo tres repeticiones a diferentes presiones, las cuales nos han permitido obtener diferentes valores de CU.
- La segunda evaluación ha permitido obtener datos de eficiencia de aplicación en base a pruebas de láminas infiltradas, según el tiempo de riego calculado, esto de acuerdo a la profundidad de las raíces del cultivo que se va instalar. El tiempo de duración de cada prueba fue de 1 hora y media, esto debidamente calculado de acuerdo a los coeficientes hídricos del suelo. En cada parcela se realizaron 03 pruebas en diferentes fechas, haciendo un total de 06 pruebas.

b. Cálculos para la procedimiento de evaluación

b.1. Uniformidad de distribución de la zona evaluada

Esta evaluación ha consistido en un análisis detallado de cada factor que podría influir en la uniformidad, y en la hora de riego, como la presión en los hidrantes, velocidad del viento, y el caudal del emisor.

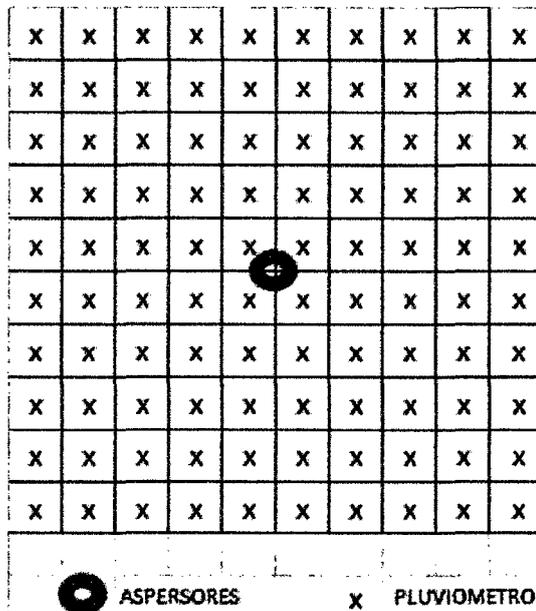
Para realizar esta evaluación se eligió la zona a evaluar el sector I, teniendo en cuenta las características del aspersor, marco de riego, número de boquillas y el diámetro mojado.

Esta evaluación ha consistido en una serie de lecturas de láminas o alturas de agua provenientes de los pluviómetros, que fueron instalados sobre un eje de 2x2m sobre el terreno agrícola. Los pluviómetros de forma cilíndrica de diámetro 15cm y altura de 20cm, han sido ubicados en el centro de

cuadrado con la finalidad de recoger o recolectar la precipitación de los aspersores.

Se tomó en consideración el siguiente grafico donde se muestra la forma usual de colocar los pluviómetros en la zona representativa de la evaluación, en la misma que se basó la prueba de campo:

Figura N° 14: Representación de los pluviómetros.



Fuente: Elaboración propia

Para esta evaluación de uniformidad de distribución, se ha utilizado el método estadístico y una vez terminada la prueba y con los datos ya recogidos se determinó la uniformidad de distribución de la zona utilizando la siguiente fórmula:

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1+3 \sqrt{\frac{P_{max}}{P_m}}}{4}$$

b.2. Determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen: Consistió en la obtención del coeficiente de uniformidad, a partir de los registros de la pluviometría, para lo cual se empleó la siguiente formula:

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |V_i - \bar{V}|}{n \times \bar{V}} \right) * 100$$

b.3. Uniformidad de instalación: Se determinó la uniformidad de instalación para lo cual se midió la presión de los aspersores distribuidos en la zona evaluada, como mínimo el primer y último aspersor de los ramales en los que se encuentran situados la evaluación.

Luego de la medición de las presiones obtuvo una presión mínima, media y máxima, se calculó la uniformidad de instalación mediante el empleo de la siguiente fórmula.

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1+3\sqrt{\frac{P_{max}}{P_{min}}}}{4}$$

b.4. Calculo de presión media

Se realiza la medición de la presión en el primer aspersor (presión máxima, P_{max}) y el último aspersor (presión mínima, P_{min}) se puede estimar la presión media con la siguiente formula:

$$P_m = Lp = \left(\frac{V_m}{S}\right) \times 1000$$

b.5. Pluviometría media recogida

Se calcula con la altura media recogida por unidad de tiempo, en mm/ hora.

$$hm = \frac{PM \times 60}{T}$$

b.6. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento:

Se procedió a medir el caudal de cada aspersor que se encuentra dentro de la zona evaluada, para la medición del caudal se tuvo que adaptar una serie de accesorios que facilite la medición, y con ayuda de una manguera, un cronómetro y un envase de plástico de volumen constante de (15 litros). Para la evaluación de las perdidas por evaporación y arrastre del viento se tuvo que emplear la fórmula siguiente:

$$Pe = 100 \times \frac{La - Lp}{La}$$

b.7. Determinación de la pluviometría media aplicada: Consistió en la determinación de la pluviometría de aplicación en funcionamiento de los sistemas de riego para este fin se emplearon datos de pruebas ya realizadas, para la determinación de la pluviometría aplicada de empleo la fórmula siguiente:

$$qr = \frac{q}{Am} \times 100$$

b.8. Evaluación de la eficiencia de aplicación: Esta evaluación ha consistido en la medición de la lámina infiltrada en los puntos críticos del área de prueba o marco de riego (40x40m), estas láminas han sido evaluadas bajo los parámetros de uniformidad y eficiencia. El valor de la eficiencia de aplicación se obtuvo empleando la fórmula (33).

$$ED (\%) = \frac{\text{Pluviometría media recogida}}{\text{Pluviometría media aplicada}}$$

c. Prueba de infiltración: Esta prueba consistió en la colocación de un juego de cilindros metálicos sobre la superficie del suelo agrícola con la finalidad de obtener el tiempo de infiltración básica del suelo evaluado, para de esta manera obtener el tiempo de riego y reajustar la pluviometría de los aspersores. Esta prueba se realizó de la siguiente manera:

- Se ubicó el juego de cilindros en el suelo, insertando el de mayor diámetro al suelo hasta una profundidad de 30cm, seguidamente se insertó el segundo cilindro de menor diámetro hasta la misma profundidad con la ayuda de una comba, hasta quedar a la misma altura.
- Luego de haber insertado los cilindros en el terreno agrícola, se procedió a colocar una bolsa plástica en el interior del segundo cilindro con la finalidad de almacenar cierta cantidad de agua, la

cual sirvió para evaluar la infiltración y registrar las lecturas de infiltración; también se agregó agua en el exterior del cilindro de menor diámetro con el objeto de no alterar las mediciones al momento de las pruebas.

- Inmediatamente después de haber incorporado el agua en los cilindros, se ha procedido a retirar la bolsa plástica, luego se ha registrado la primera lectura del nivel del agua en el cilindro con el micrómetro que se encuentra incorporado en el cilindro interior.
- Luego de registrar el nivel inicial del agua en el cilindro, con el micrómetro, se tomó las lecturas cada cinco minutos durante dos horas; luego de ese tiempo, se tomó las lecturas cada 10 y 15 minutos. Durante todo ese tiempo, se agregó agua a los cilindros a medida que éste bajaba de nivel, tomando las lecturas antes y después de agregar el agua a los cilindros.

d. Prueba de lámina infiltrada: Esta prueba consistió en evaluar las láminas infiltradas en el perfil del suelo, basadas en el muestreo de humedecimiento del suelo dentro del marco de riego.

Antes de realizar la prueba de láminas infiltradas, se evaluó la profundidad de raíces del cultivo (alfalfa), las cuales tuvieron una altura de 15cm. de profundidad de enraizamiento. Con este valor, se calculó la lámina de agua a aplicar al cultivo, y seguidamente se calculó el tiempo de riego que debería permanecer los aspersores para incorporar la lámina calculada. Como también, se hicieron las evaluaciones de textura del suelo evaluado (coeficientes hídricos del suelo).

Calculando el enraizamiento del cultivo, se procedió a medir la presión en el hidrante hasta llegar a la presión de operación de 3.8 a 4 bares; luego de obtener la presión de trabajo de los aspersores, se insertó la llave bayoneta al hidrante.

Al finalizar estos procedimientos preliminares, se procedió a evaluar las láminas infiltradas en el marco de riego evaluado de la siguiente manera:

Se trazaron puntos de muestreo en el eje longitudinal y transversal a cada cinco metros, obteniendo un total de 36 puntos de muestreo. A diferencia de la prueba de uniformidad, la cual consistió en evaluar la pluviometría en el marco de riego, la prueba de láminas infiltradas consistió en el pesado de muestras antes y después del funcionamiento de los aspersores, a una profundidad de 25cm, con la finalidad de obtener por diferencia de pesos la lámina infiltrada. Para ello, se utilizó una barra de muestreo, la cual extrajo el suelo antes y después del funcionamiento del lateral de riego, para posteriormente ser pesado en una balanza de precisión; las muestras fueron recogidas en un recipiente de 12cm de diámetro y a una altura de 5cm.

3.8.3. Cálculos de parámetros de diseño agronómico y hidráulicos

a. Los cálculos agronómico se hallan teniendo en cuenta la evapotranspiración, humedad relativa velocidad de viento los cuales son obtenidos por el método de Hargreaves. Datos de cultivo hallados por el cálculo de Kc de diferentes cultivos de la zona. Características del aspersor instalado en la zona determinado así si cumple con las funciones que fue diseñado en la zona.

b. Calculo de diseño hidráulico y simulación hidráulica con “WATERCAD 2012”

Se realizó la simulación hidráulica con el programa WATERCAD 2012, es un software de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego) que aborda la simulación hidráulica de red presurizadas en régimen estacionario en el contexto de los sistemas de riego utilizando procedimientos numéricos avanzados que se conjugan eficazmente con un “interface” gráfico que permite la explotación cómoda y eficiente gracias a herramientas específicamente.

Posibilita prevenir o resolver fácilmente problemas operativos con respuesta de la red ante múltiples estados de demanda, supuestos o verificados, y detectar las causas que originan las disfunciones.

c. Operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego

- **Operación:** se evaluó que en el sistema de riego se esté empleando una distribución de agua diferente a lo planteado en el expediente técnico ya que la junta de usuarios designa la zona de riego según propia distribución y turno de riego.
Se verifico que los componentes del sistema de riego se encuentran descuidados teniendo en cuenta que esto influye en el buen aprovechamiento del sistema por los usuarios.
- **Mantenimiento:** Se verifico que el sistema en la actualidad no está teniendo un adecuado mantenimiento ya que no se usando tal como se plantea en el expediente técnico. Existe lugares donde posterior a la prueba hidráulica se encuentra fisuras en las uniones de las tuberías y fallas en el sistema hidráulico.
- **Manejo:** Posterior a la evaluación operación y mantenimiento se planteara en manejo de la programación de riego, frecuencia de riego con los cálculos agronómicos e hidráulicos realizados anteriormente, y así también tomando en cuenta la eficiencia de aplicación de riego.

3.8.4. Programación de riego

Recopilando los datos anteriores descritos en los objetivos planteados se llega a realizar la programación de riego en todo el sistema de riego.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Sistema de evaluación del C.U y determinación de la eficiencia de aplicación.

Para obtener los resultados se empezó a las evaluaciones del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicaciones entre los meses de abril a junio del 2015 para lo cual se realizó 6 pruebas específicas en 2 sub sectores de riego en zonas representativas de la zona de la comunidad de Pacuri con la finalidad de obtener datos que servirá para posteriores proyectos de riego por aspersión.

Considerando la ejecución de las pruebas de coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación como la evaluación del sistema de riego presurizado en la comunidad de Pacuri, objeto del presente trabajo de investigación, se realizaron diferentes trabajos previos para la obtención de los datos de campo como prueba de infiltración, presión de operación pendiente de terrenos y otras características.

Para la obtención de los resultados según el objetivo planteado se tuvo en cuenta la influencia de los siguientes factores:

- **Datos meteorológicos**

Los datos climáticos con los que se trabajó para la obtención del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación se tomó de la estación meteorológica de Pucaloma según se muestra en el anexo J. donde se

lleva un registro de la temperatura, humedad relativa y la velocidad de viento datos muy importantes y necesarios para nuestros cálculos.

- **Temperatura y humedad relativa**

Teniendo en cuenta el tipo de evaluación, se registró el comportamiento de temperatura y humedad relativa durante el día en forma horaria. La temperatura oscila entre 5°C y 8°C en las mañanas y empieza a incrementarse hasta los 22°C a la 1 y 2 de la tarde.

En el presente trabajo se tomó datos de la estación meteorológica de Pucaloma un promedio de temperatura y humedad relativa de años anteriores. Se trabajó con el promedio de datos para el mes de agosto donde se tiene la demanda de agua máxima. En el caso de la Humedad Relativa de 57.6% y una temperatura de 18.9 °C.

- **Velocidad del viento**

La velocidad del viento, se registró y se tomó como dato proporcionado por la estación meteorológica de Pucaloma, por presentar información diaria de la velocidad del viento.

En tal sentido, los valores se encuentran en el anexo J, trabajándose para el mes de agosto con valores de velocidad de viento 1.8 m/seg. Este es un valor muy importante que también influye en la elección del tipo de aspersor.

- a. **Coeficiente de uniformidad – Método de Christiansen**

Los valores obtenidos en forma estadística corresponden a los valores de CU para cada sub sector evaluado. Para lo cual se realizó 03 pruebas en el sub sector I con los aspersores Silver; el mismo número de pruebas se realizó en el subsector II.

A continuación se detalla el procedimiento que se siguió para obtención de los resultados, todas las pruebas tuvieron una duración de 90 minutos, esto con el fin de tener una uniformidad constante:

- El 17 de mayo se llevó a cabo las pruebas se hicieron tanto en las dos parcelas; la **prueba número 01** se realizó en el **sub sector I**, el mismo que tuvo una duración de 90 minutos, esta prueba empezó a las 09:00am, culminando aproximadamente a las 10:30am, durante esta prueba no se tuvo presencia de vientos que puedan alterar la precipitación del aspersor, culminado esta primera prueba se procedió a la lectura de las láminas recogidas en cada pluviómetro, los resultados obtenidos en esta primera prueba son, uniformidad de la zona evaluada 75.15%, este valor es considerablemente aceptable, se tiene un 77.90% de uniformidad de instalación, se tiene un coeficiente de uniformidad de Christhiansen de 81.08%, eficiencia de aplicación de 35.21%, lamina promedio aplicada 10.51mm/h, paralelo a la lectura de la lámina de agua recogida en la primera prueba se fue colocando los pluviómetros en el **sub sector II**, iniciándose la segunda prueba aproximadamente a la 10:20 am, esta prueba también tuvo una duración 90 minutos, culminando la misma a las 11:50m, en esta prueba se tuvieron los siguientes resultados, uniformidad de la zona evaluada 59.94%, uniformidad de instalación 62.14%, coeficiente de uniformidad de Christhiansen de 80.75%, eficiencia de aplicación 57.52% y una lámina aplicada de 10.21mm/h.
- Posteriormente el 24 de mayo se llevó a cabo las 02 pruebas de campo, tanto en el sub sector I y sub sector II; la **prueba número 02** se realizó en el **sub sector I**, el mismo que tuvo una duración de 90 minutos, esta prueba empezó a las 08:00 am, culminando aproximadamente a las 09:30am, durante esta prueba no se tuvo presencia de vientos que puedan alterarla precipitación del aspersor, culminado esta primera prueba se procedió a la lectura de las láminas recogidas en cada pluviómetro, los resultados obtenidos en esta primera prueba son, uniformidad de la zona evaluada 63.30%, este

valores considerablemente aceptable, se tiene un 65.62% de uniformidad de instalación, coeficiente de uniformidad de Christiansen de 80.11%, eficiencia de aplicación de 42.11%, lamina promedio aplicada 10.51mm/h, paralelo a la lectura de la lámina de agua recogida en la primera prueba se fue colocando los pluviómetros en el **sub sector II**, iniciándose la **segunda prueba** aproximadamente a la 10:20am, esta prueba también tuvo una duración 90 minutos, culminando la misma a las 11:50m, en esta prueba se tuvieron los siguientes resultados, uniformidad de la zona evaluada 60.77%, uniformidad de instalación 63.00%, coeficiente de uniformidad de Christiansen de 79.24%, eficiencia de aplicación 56.45% y una lámina aplicada de 10.21mm/h.

- El 31 de mayo se realizó la tercera evaluación que también se hizo 02 pruebas, tanto en el sub sector I y sub sector II, pero este caso las pruebas se llevaron a partir de las 11:30 am para ver los efectos del viento; la **prueba número 03** se realizó en el **sub sector I**, el mismo que tuvo una duración de 90 minutos, esta prueba empezó a las 11:30 am, culminando aproximadamente a las 01:30 pm, durante esta prueba hubo presencia de vientos moderados, que en cierto modo alteraron en los resultados, culminado esta primera prueba se procedió a la lectura de las láminas recogidas en cada pluviómetro, los resultados obtenidos en esta primera prueba son, uniformidad de la zona evaluada 53.09%, uniformidad de instalación 55.03%, coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.49%, eficiencia de aplicación de 44.64%, lamina promedio aplicada 10.51mm/h, paralelo a la lectura de la lámina de agua recogida en la primera prueba se fue colocándolos pluviómetros en el **sub sector II**, iniciándose la **tercera prueba** aproximadamente a la 02:20 pm, esta prueba también tuvo una duración 90 minutos, culminando la misma a las 03:50 pm, en esta prueba se tuvieron los siguientes resultados, uniformidad de la zona evaluada 58.63%, uniformidad de instalación 60.77%, coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.90%, eficiencia de aplicación 51.81% y una lámina aplicada de 10.21mm/h.

- ✓ Haciendo una comparación de los resultados de las 06 pruebas del sistema de riego, se puede ver que los coeficientes de uniformidad de Christiansen se encuentran entre 81.08% y 78.49% para el sub sector I evaluado, encontrándose los valores dentro del rango recomendado, considerándose **ACEPTABLE** esta variación pudo ser debido a que en el tiempo de riego la velocidad de viento fue ligeramente superior,
- ✓ En el caso del sub sector II el coeficiente de Christiansen se encuentra entre 80.75% y 78.90%, estos valores reflejan la **BUENA** uniformidad a la hora del riego. Estos valores obtenidos serian afectados por el incremento del viento a la hora de las pruebas que se realizaron. Para mayor entendimiento del cálculo de estos parámetros ver el anexo A.
- ✓ Al comparar los coeficientes calculados se verifica que el CU es sensible a las variaciones en la distribución de agua de un sistema de riego por aspersión. Con la Eficiencia de aplicación verifica la cantidad de agua incorporada en el suelo hasta la profundidad efectiva del sistema radicular de cualquier cultivo, en relación a la cantidad de agua total aplicada por riego, verificandolas pérdidas por percolación y evaporación. Lo cuales son **ACEPTABLE**. En este anexo de realización propia se puede verificar la hoja de cálculo donde los resultados son aceptables y por tal razón el sistema de riego cumple con las expectativas deseadas.

En el siguiente cuadro se presenta el resultado de las pruebas llevadas a cabo:

Cuadro N° 03: Resultados de la pruebas de CU

PRUEBA N° 01					
SECTOR I	CU =	81.08	%	La =	10.51 mm
	Udzona =	75.15	%	Pe =	64.79 mm
	Udinstal =	77.90	%	qr =	7.01 mm/h
	Pm = Lp =	3.70	mm	Ea =	35.21 %
	hm =	2.47	mm/h	Lp =	3.70 mm
SECTOR II	CU =	80.75	%	La =	10.21 mm
	Udzona =	59.94	%	Pe =	42.48 mm
	Udinstal =	62.14	%	qr =	6.81 mm/h
	Pm = Lp =	5.87	mm	Ea =	57.52 %
	hm =	3.92	mm/h	Lp =	5.87 mm
PRUEBA N° 02					
SECTOR I	CU =	80.11	%	La =	10.51 mm
	Udzona =	63.30	%	Pe =	57.89 mm
	Udinstal =	65.62	%	qr =	7.01 mm/h
	Pm = Lp =	4.43	mm	Ea =	42.11 %
	hm =	2.95	mm/h	Lp =	4.43 mm
SECTOR II	CU =	79.24	%	La =	10.21 mm
	Udzona =	60.77	%	Pe =	43.55 mm
	Udinstal =	63.00	%	qr =	6.81 mm/h
	Pm = Lp =	5.77	mm	Ea =	56.45 %
	hm =	3.84	mm/h	Lp =	5.77 mm
PRUEBA N° 03					
SECTOR I	CU =	78.49	%	La =	10.51 mm
	Udzona =	53.09	%	Pe =	55.36 mm
	Udinstal =	55.03	%	qr =	7.01 mm/h
	Pm = Lp =	4.69	mm	Ea =	44.64 %
	hm =	3.13	mm/h	Lp =	4.69 mm
SECTOR II	CU =	78.90	%	La =	10.21 mm
	Udzona =	58.63	%	Pe =	48.19 mm
	Udinstal =	60.77	%	qr =	6.81 mm/h
	Pm = Lp =	5.29	mm	Ea =	51.81 %
	hm =	3.53	mm/h	Lp =	5.29 mm

Fuente: Elaboracion Propia

**BIBLIOTECA E INFORMACION
CULTURAL
U.N.S.C.H.**

4.2. Verificar y analizar el planeamiento del sistema, el diseño agronómico e hidráulico, operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego por aspersión

4.2.1. Verificación y análisis del planeamiento del sistema de riego.

El sistema de riego evaluado según expediente técnico fue diseñado según los recursos de la zona y las necesidades de incluir un sistema de riego en el plan general de actividades de la comunidad de Pacuri teniendo en cuenta llegar a toda el área de riego que son 31.10 ha.

En el diseño inicial la capacidad del sistema, su planeamiento y funcionamiento se basó únicamente en un cultivo que en este caso fue el maíz, característico de la zona sin tener en cuenta que en la actualidad se está implementando proyectos de crianza de cuyes para lo cual se está cultivando la alfalfa. Y además rotaciones que incluyen cultivos que sirven para mejorar el suelo y así mantener el nivel óptimo de producción. En este trabajo de investigación se ha realizado los cálculos para diversos tipos de cultivos característicos de la zona obteniendo kc promedios y en especial la alfalfa según se muestran en el anexo F. Mediante el establecimiento de la rotación de cultivo planteada en este trabajo es posible reducir la capacidad del sistema donde las necesidades máximas de humedad para los diferentes cultivos se producen en momentos diferentes de la estación de riego. Si se llega a establecer según el planteamiento una rotación de cultivo equilibrada se puede adaptar la maquinaria, tanto al cultivo más intensivo como al que le sigue en la rotación. Esta práctica puede reducir los costos de mano de obra.

En caso de requerimiento de agua por el sistema, según los cálculos de coeficiente de uniformidad y Eficiencia de aplicación son aceptados ya que el agua aplicada al suelo va penetrando a una velocidad constante de 8.85 mm/h, al principio elevado y con el tiempo va disminuyendo, hasta alcanzar el valor de dato conocido como infiltración básica. La cantidad de agua infiltrada aumenta con rapidez en un principio y posteriormente sigue creciendo en forma moderada. El sistema de riego en estudio cumplió que

la velocidad de aplicación del agua de riego emitido por el aspersor es menor a la velocidad de infiltración básica del suelo. Evitándose así la pérdida de agua por escurrimiento.

4.2.2. Verificación del diseño agronómico.

Es una parte fundamental del proyecto de riego, donde hay que tener en cuenta gran número de condiciones por ejemplo suelo, clima, cultivos, parcelación, etc

Se dividió en tres fases de investigación:

- Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos.
- Determinación de los parámetros de riego, dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, duración del riego, número de emisores por postura, caudal necesario, etc
- Disposición de los emisores en el campo.

a. Cálculo de las necesidades de agua

Se procede con el cálculo de la evapotranspiración potencial el mismo que se calculó por el método de Hargreaves teniendo en cuenta la humedad relativa de dato principal obteniendo el siguiente cuadro N° 04:

Cuadro N° 04: Evapotranspiración potencial por Método de Hargreaves, en función a Humedad Relativa y Temperatura

Latitud: S: 13.23°		Longitud: 74° 16'												Altitud: 3,400.00 msnm	
PARÁMETRO DE CÁLCULO	UNIDAD	MESES													
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Temperatura Media Mensual	°C	10.5	10.3	10.0	10.3	10.1	8.7	8.8	9.6	10.3	10.9	10.9	10.5		
TF - Temperatura Media Mensual	°F	50.90	50.56	50.03	50.49	50.20	47.63	47.91	49.22	50.45	51.54	51.70	50.86		
RMM - Radiación E Terrestre, equivalente de evaporación	mm	516.5	458.1	475.5	414.4	379.9	340.6	364.4	403.5	437.3	489.8	493.9	513.4		
S - Porcentaje de Horas de Sol	%	36.23	35.21	36.29	51.21	69.69	68.13	70.79	65.55	53.73	51.78	51.25	38.67		
RSM - Radiación Equivalente Mensual	mm	233.2	203.9	214.8	222.4	237.8	210.9	229.9	245.0	240.4	264.3	265.2	239.4		
CE - Factor de Corrección por Altitud		1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068		
ET _o - Evapotranspiración Potencial	mm	95.1	82.6	86.1	90.0	95.6	80.4	88.2	96.6	97.2	109.1	109.8	97.5		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 05: Demanda de agua con precipitación efectiva al 75%

* Método de Hargreaves, en función a Porcentajes de Horas de Sol Posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Evapotranspiración Potencial	95.06	82.67	88.10	88.95	95.62	80.44	88.23	96.58	87.16	109.13	109.80	97.54	mm	
Precipitación Efectiva Mensual al 75%	77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	-	-	-	4.45	26.82	36.53	63.31	mm	
Área Cultivada	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	há	
CULTIVOS DE BASE	Maíz Amiláceo	3.60	2.75	1.41	6.57	5.14	5.61	9.82	10.14	9.14	6.39	2.02	1.53	CULTIVOS DE ROTACIÓN
	Cebada	-	1.52	0.89	3.88	2.86	3.21	5.68	6.04	5.09	4.11	1.13	-	
	Papa	1.38	2.22	1.33	4.18	3.41	4.87	7.91	7.57	3.58	2.15	1.13	-	
	Trigo	0.95	-	-	1.16	2.19	2.40	4.33	4.16	3.54	1.18	2.24	2.29	
	Haba	0.87	0.14	-	0.98	2.61	3.29	3.58	3.52	2.88	1.00	1.21	1.36	
	Arveja	0.81	0.27	-	0.82	1.84	2.71	3.56	3.54	2.51	1.07	1.23	1.30	
	Alfalfa	0.82	0.53	0.10	4.33	5.74	4.89	5.36	5.87	5.62	4.98	4.34	1.88	
DMA - TOTAL	8.42	7.43	3.73	21.92	23.78	26.97	40.24	40.85	32.36	20.87	13.29	8.36	1,000 m ³	
Q 24 hrs	0.003	0.003	0.001	0.008	0.009	0.010	0.015	0.015	0.012	0.008	0.005	0.003	m ³ /seg	
Mf - Módulo de Riego	0.101	0.089	0.045	0.272	0.288	0.335	0.483	0.480	0.401	0.251	0.165	0.100	l/seg/há	
Caudal de Diseño									0.0153				m ³ /seg	
									15.25				l/seg	

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar la evapotranspiración potencial se calculó a través del método de Hargreaves para cada mes, teniendo como valor mínimo 70.5mm/mes en el mes de junio y como valor máximo 142.0mm/mes en el mes de diciembre, así mismo se tiene los kc ponderados, correspondientes a, cada etapa de su desarrollo, cuyo cálculo se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 06: Coeficiente de uso consuntivo para la cédula de cultivo (Kc)

CULTIVOS DE BASE	ÁREA há	Kc												CULTIVOS DE ROTACIÓN	ÁREA há
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Maíz Amiláceo	7.80	1.18	1.17	1.09	0.90	0.53	0.87	1.07	1.01	0.95	0.80	0.51	0.80	Arveja	7.80
Cebada	4.60	0.70	1.15	1.10	0.90	0.50	0.65	1.05	1.02	0.90	0.85	0.50	0.55	Haba	4.60
Papa	5.60	1.01	1.21	1.14	0.82	0.49	0.81	1.20	1.05	0.54	0.50	0.47	0.58	Trigo	5.60
Trigo	3.20	1.05	0.54	0.50	0.50	0.55	0.70	1.15	1.01	0.90	0.49	0.81	1.20	Cebada	3.20
Haba	2.60	1.08	0.90	0.85	0.51	0.80	1.18	1.17	1.05	0.90	0.50	0.65	1.05	Malz	2.60
Arveja	2.60	1.07	0.95	0.90	0.47	0.59	1.01	1.21	1.10	0.82	0.53	0.67	1.05	Papa	2.60
Alfalfa	4.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		4.80
Kc ponderado		1.01	1.04	0.88	0.78	0.61	0.81	1.10	1.02	0.85	0.70	0.62	0.83		
	31.10														31.10

Fuente: Elaboración Propia

Al tener estos valores en las hojas de cálculo según el anexo F se procedió al cálculo de la demanda de agua según se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 07: Calculo de la demanda hídrica del proyecto

CÁLCULOS		M E S E S											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Nº de días/mes	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Eto (*)	mm/día	3.98	3.59	3.30	3.12	3.04	2.65	2.77	3.25	3.87	4.41	4.69	4.68
Kc Ponderado	mm/mes	123.32	100.44	102.16	93.56	94.30	79.53	85.73	100.69	116.06	136.81	140.70	141.99
U.C.	mm	1.01	1.04	0.98	0.78	0.81	0.81	1.10	1.02	0.85	0.70	0.62	0.83
Pp. Registrada al 75%	mm/mes	96.64	85.30	100.82	23.68	6.28	1.30	0.35	4.35	9.69	32.30	44.20	75.80
P. efectiva al 75%(**)	mm/mes	77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	0.00	0.00	0.00	4.45	25.82	36.53	63.31
Requerimiento	mm	47.28	33.78	20.12	65.70	56.56	64.31	94.29	102.71	94.08	69.65	51.36	54.62
Req. Vol. Bruto	m3/ha	472.77	337.80	201.20	556.96	565.61	643.05	942.88	1027.07	940.82	696.50	513.58	546.23
Ef. De Riego (***)	-----	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Req Vol Neto.	mm	630.36	450.41	268.27	742.61	754.15	857.40	1257.17	1369.43	1254.43	928.67	684.77	728.31
Nº de Horas de riego	hrs	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Área total de riego	has	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10
Módulo de Riego	l/seg/ha	0.235	0.186	0.100	0.287	0.282	0.331	0.469	0.511	0.484	0.347	0.264	0.272
Q. demanda	l/seg	7.32	5.79	3.12	8.91	8.76	10.29	14.60	15.90	15.05	10.78	8.22	8.46
Oferta fuente (****)	(l/s)	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
Oferta fte y reserv.	(l/s)	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90

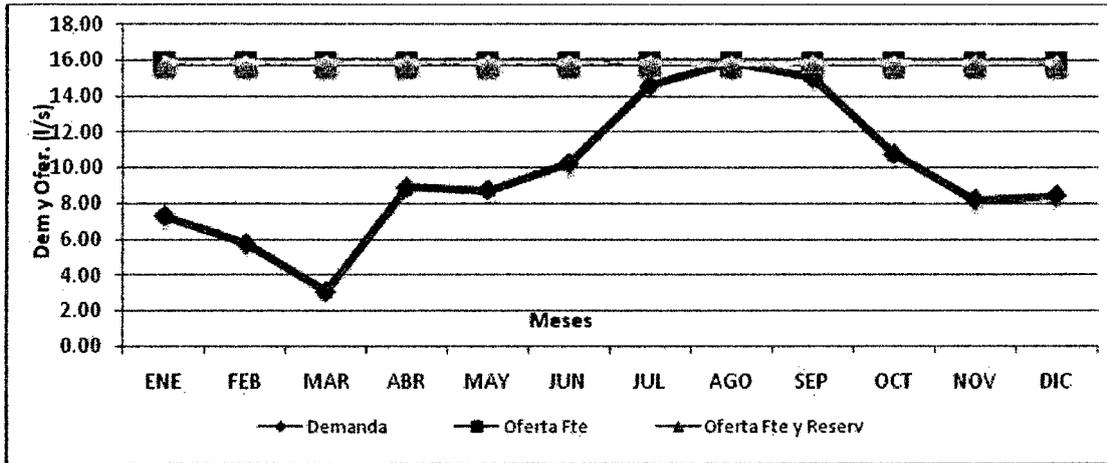
* El Eto fue calculado por el método de Hargraves

** La Precipitación Efectiva fue calculado con los valores del cuadro adjunto (Método U.S.A)

***Eficiencia de Riego 0.75

****La diferencia de Caudal ofertado y Caudal demandado se considera como: CAUDAL ECOLÓGICO

Figura N° 015: Demanda de agua del proyecto



Para la determinación de los parámetros de riego como se muestra en el siguiente cuadro N° 10

Cuadro N° 08: Cálculo de parámetros de riego

Caudal	: 57.132 m3/h
Necesidades de lavado	: 30% en suelos arcillosos (f=0.3)
Intervalo de riego	: 10 días
Turno por día	: 1 turno por día
Horas de riego	: 6 h/día
Fuente: Elaboración propia	

Como complemento de los demás parámetros agronómicos se adjunta el anexo B, en el cual se encuentra los cálculos del diseño agronómico, como se puede observar se tienen cálculos de lámina bruta, lámina de agua disponible, volumen de agua disponible en la superficie radicular,

precipitación horaria del sistema, dosis de riego, las horas de riego por turno, etc., debidamente justificados.

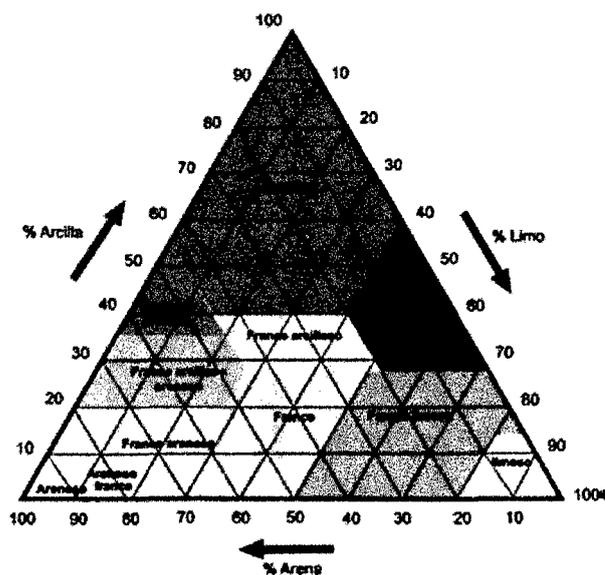
a.1. Elección de aspersor:

Se comprobó que en el sistema de riego se eligió adecuadamente el aspersor silver sectorial de bronce $\frac{3}{4}$ " así como se comprueba en los cálculos que se detalla en el anexo E. Además que cumple con el planteamiento que la velocidad de infiltración del aspersor según dato de catálogo es menos a la velocidad de infiltración obtenida en la prueba de campo realizado con los cilindros infiltrómetro.

a.2. Análisis de tipo de suelo:

Se ha realizado pruebas de laboratorio con muestra de suelo obtenidas en las dos parcelas evaluadas a una profundidad de excavación de 0.30 a 0.40 cm obteniendo de cada parcela 03 calicatas. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la oficina de estudios del Gobierno Regional de Ayacucho.

Según las pruebas de laboratorio se clasificaron por AASHTO y SUCS donde se llegó a la clasificación de un suelo **Arcilla arenosa de baja plasticidad** con los datos obtenidos del porcentaje de arena, limo, arcilla y además los límites de plásticos y líquidos se realizaron otra clasificación por USDA con fines agrícolas como **Arcilla ligera**



Tal como muestra los resultados estos suelos muestran alta capacidad de retención de agua y altos parámetros de infiltración; las características del suelo son las que se observa en el Cuadro N° 09.

Cuadro N° 09: Resultado de análisis de suelo

Parametros	Abreviatura	Unidad	Valor
Capacidad de Campo	CC	%	10.5
Punto de Marchitez	PM	%	2.77
Densidad Aparente	Da	g/cc	1.36
Arena	A	%	37.5
Limo	L	%	22
Arcilla	Ar	%	40.5
Clase textural	CI		Arcillo arenoso

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales - Oficina Regional de Estudios e Investigacion - GRA

a.3. Disposición de los emisores en el campo.

Se realizaron pruebas de infiltración en las tres parcelas seleccionadas con el propósito de obtener la velocidad de infiltración básica y poder compararlas con la velocidad de aplicación de los aspersores instalados en el sector evaluado por medio del método del cilindro infiltrómetro, según las pruebas de infiltración ejecutadas a las parcelas objeto de esta investigación, resultaron poseer una velocidad de infiltración promedio de 8.85 mm/hora (Anexo C), valores aptos para el riego por aspersion, lo cual indica que es favorable cualquiera fuese el grado de aplicación de los aspersores en el sector I de la comunidad de Pacuri.

Cuadro N° 10: Resultado de la Velocidad de infiltración.

VBI =	0.147 mm/min
VBI =	8.85 mm/h

Fuente: Elaboracion Propia

Cuadro N° 11: Velocidades de infiltración de acuerdo a la clase textural

TEXTURA DEL SUELO	VBI (mm/h)
Arenosos grueso	25 a 60
Arenoso fino	18 a 25
Franco arenoso	14 a 18
Franco limoso	10 a 14
Franco Arcilloso	7 a 10
Arcillo arenoso	4 a 7
Arcillo compactado	2 a 5

Fuente: Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas, PRONAMACHCS

En la comparación de la velocidad de infiltración con la precipitación del aspersor se obtiene en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 12 Comparación precipitación de aspersor y velocidad de infiltración

Pp. Aspersor Silver (mm/hr)	Veloc. Infiltración (mm/hr)
7.14	8.85

Como se puede observar la precipitación del aspersor es menor a la velocidad de infiltración básica, con lo cual se acepta la elección de los aspersores. Donde cumple con los criterios de selección de aspersor que es:

$$\boxed{VBI \geq Pp}$$

El aspersor elegido es Silver BR 3/4" con las siguientes características:

Marca	SILVER BR 3/4"
Modelo	
Diám. Mojado (m)	28
Presión Trabajo (mca)	25
Diám. Boq. (mm)	5
Q. Asp. (lt/hr)	1600
Radio Mojado (m)	14
Solape = 2- Solape/100	1.05
Marco de Riego (m)	14.70
Marco de Riego (m) Ajustado	15 ml
Distanciamiento entre laterales	15 ml

Disposición de los emisores en campo

Teniendo los cálculos agronómicos y comprobando el tipo de aspersor se procede al diseño de los emisores de campo según se muestra en el anexo D.

4.2.3. Verificación del diseño hidráulico

El diseño hidráulico comprende la verificación de las presiones de trabajo, con el cual se determinara si la tubería elegida es la adecuada en diámetro y clase, así mismo se verificara las pérdidas de carga en cada uno de los accesorios que conforman el sistema, desde las válvulas de control hasta los hidrantes fijos.

La verificación del diseño hidráulico considera:

- Elección del diámetro y clase acorde a las presiones de trabajo.
- Elección de la presión mínima de trabajo; es importante determinar la altura de carga (≥ 20 m.c.a.).
- Cálculo de las pérdidas de carga en cada tramo del sistema.
- Longitud máxima de los laterales: sub-unidades de riego y elección de la red de tuberías.
- Selección del emisor.
- Elección del marco de los aspersores.
- Determinación del tamaño del sector y sub – sectores de riego.
- Encontrar el sector crítico: dimensionar la red de tuberías y presión de agua a la salida de la cámara de carga.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se procede con dicha evaluación.

Para la verificación de la red de tuberías del diseño hidráulico como se observa en el anexo E: con el cual el diámetro calculado para un caudal de 15.90 l/s, es de 32mm (estos cálculos se encuentran con más detalle en el anexo E: Calculo hidráulico del sistema), sin embargo la línea principal está compuesta por una combinación de tuberías de la siguiente manera; 1,293 m se encuentran con tubería PVC SAP de 90mm, 612 m se

encuentran con tubería PVC SAP de 75mm, 510 m se encuentran con tubería PVC SAP de 63mm, 617 m se encuentran con tubería PVC SAP de 1 ½", 1,115 m se encuentran con tubería PVC SAP de 1" todos estos tramos con tubería clase 5, 7.5,10, con lo que se garantiza la adecuada elección de la clase de tubería.

De igual manera se verificó los diámetros y clase de tubería en los laterales de riego, estos cálculos se encuentran con mayor detalle en el anexo E.

Como en todo sistema a presión existe perdidas de carga por fricción, se procedió a la verificación del tipo de flujo que discurre en cada tubería a través del número de Reynold, teniendo en cuenta estas consideraciones se procedió al cálculo de las pérdidas de carga por fricción en los laterales de riego.

Cabe mencionar que la fricción en las tuberías es diferente según el diámetro, esta fricción se calculó empleando la fórmula de Colebrook White y el método de iteración para su cálculo, en mismo que se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 13: Fricciones en las tuberías del sistema

ϕ	X	f
$\phi = 160 \text{ mm}$	8.015781	0.015564
$\phi = 110 \text{ mm}$	8.287603	0.014559
$\phi = 90 \text{ mm}$	7.525138	0.017659
$\phi = 63 \text{ mm}$	7.124270	0.019702
Fuente: Elaboracion Propia		

Los cálculos efectuados se reflejan en el anexo E, pero a modo de resumen se tiene las siguientes:

Se tiene 5 sectores por la programación de riego: en el primero sector la presiones en el rango de 20.61 m.c.a a 43.69 m.c.a, en el segundo sector de 15.81 m.c.a a 48.58 m.c.a, el tercer sector de 12.95 m.c.a a 72.86 m.c.a, el cuarto sector de 21.21 m.c.a a 60.75 m.c.a, el quinto sector de 26.51 m.c.a a 44.88 m.c.a.

Un punto muy importante para tener en cuenta es el rango de velocidades: el primer sector tiene una velocidad máxima de 3.07 m/seg, el segundo sector tiene una velocidad máxima de 2.11 m/seg, el tercer sector tiene una velocidad máxima de 1.85 m/seg, el cuarto sector tiene una velocidad máxima de 2.15 m/seg, el quinto sector tiene una velocidad máxima de 3.07 m/seg.

El análisis de sobre presiones y fenómenos de golpe de ariete en la red de tuberías, las presiones adicionales están entre 0.11 y 0.75 m.c.a., adicionales a las presiones disponibles en todos los puntos analizados, por lo que la presión máxima es de 72.86 m.c.a., por una tubería de clase 7.5, la clase de tubería empleada no sustenta las presiones y sobrepresiones.

4.2.4. Operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego

- Se llegó a calcular por medio del diseño agronómico la cédula de cultivo Kc para los diferentes cultivos de la zona como se muestra en el anexo F y el Kc de alfalfa en un área de riego de 31.10 ha. Ya que en el expediente técnico solos e planteaba con un solo cultivo.
- La demanda de agua mensual y caudal máximo de captación se verifica en el anexo F.
- La cantidad de usuarios beneficiados son 59 en todo el sistema de riego.
- Las obras de ingeniería instaladas en el sistema son adecuados ya que con los datos obtenidos se llegó a comprobar la buena eficiencia del sistema de riego tal como se observa en el plano WATERCAD del esquema hidráulico.
- Se plantea la modalidad de distribución del agua entre los usuarios planteando así un programa de riego donde el sistema funcione adecuadamente y no como ahora se está planteando por el comité de riego del distrito de Socos.
- Modalidades de aplicación del riego y módulo de riego se bien planteando en el diseño agronómico anexo B.

Para la evaluación del buen manejo del proyecto y cumpliendo las recomendaciones según diseño presentado en el presente proyecto se recomienda los siguientes aspectos para la operación y manteniendo.

- La infraestructura de riego es adecuada a los requerimientos técnicos del sistema, planteando la alternativa de la programación de riego cada 6 días según el anexo B.
- El sistema de riego debe de ser permanente satisfaciendo la demanda de agua de los cultivos. Según se plantea en el anexo F
- El sistema de operación y mantenimiento (O + M), debe de mejorarse ya que se está dejando de lado las infraestructuras de riego y así la población se beneficien mejor con este sistema considerando las características sociales, culturales y económicas de la población beneficiaria.

4.3. Programación de riego para el módulo de riego

Como uno de los objetivos planteados del presente trabajo de investigación es referente a la programación de riego y con fines de hacer el uso adecuado del recurso hídrico de cálculo de programación de riego acorde a los requerimientos hídricos del cultivo, para dicho calculo fue necesario determinar la frecuencia, el tiempo, la cantidad de agua, así mismo los turnos y horas de riego que será aplicada en cada riego. En el cuadro N° 14 se presenta los cálculos de la programación de riego, la cantidad de agua de riego aplicar en el cultivo y el tiempo oportuno a regar, para la campaña agrícola.

Cuadro N° 14: Programación de riego

TURNO	PATRON DE APERTURA DE LOS HIDRANTES EN EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO													
	N° orden de Hidrantes	PRIMERA 01							Hora		2DA POSICION		HORA	
		L	M	M	J	V	S	D	1RA POSICION		2DA POSICION		HORA	
									INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN
1°	HIDRA1, HIDRA3, HIDRA2, HIDRA5, HIDRA4, HIDRA6, HIDRA7, HIDRA8	■							06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
			■						06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
				■					06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
					■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
						■			06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
							■		06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
2°	HIDRA9, HIDRA10, HIDRA12, HIDRA13, HIDRA14, HIDRA16, HIDRA11, HIDRA16		■						06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
				■					06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
					■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
						■			06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
							■		06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
								■	06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
3°	HIDRA17, HIDRA18, HIDRA19, HIDRA20, HIDRA21, HIDRA22, HIDRA23, HIDRA24				■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
						■			06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
							■		06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
								■	06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									■	06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
										■	06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
4°	HIDRA27, HIDRA25, HIDRA28, HIDRA29, HIDRA26, HIDRA30, HIDRA31, HIDRA32								06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
5°	HIDRA33, HIDRA34, HIDRA35, HIDRA36, HIDRA37, HIDRA38, HIDRA39, HIDRA40								06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.	06:00 p.m.

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de la programación de riego de acuerdo a la demanda de agua de cada emisor, las presiones de trabajo según al turno y horas de riego de cada lateral de riego. Para el sistema de riego evaluado se plantea dos turnos de 6 horas de riego

Cuadro N° 15: Programación de riego según el turno de riego

				1							
				2 posiciones							
				6 horas							
				6 días							
	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0935	0.0080	1.3901	
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0962	0.0060	1.0426	
TUB3	TEE2	HIDRA1	160.00	0.086	90	C-5	140.00000	2.2017	0.0060	1.0426	
TUB4	HIDRA1	TEE3	19.00	0.071	75	C-5	140.00000	0.4570	0.0050	1.2558	
TUB5	TEE3	HIDRA3	30.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3025	0.0010	0.5965	
TUB6	TEE3	TEE4	42.00	0.060	63	C-5	140.00000	1.5613	0.0040	1.4242	
TUB7	TEE4	HIDRA2	11.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.1111	0.0010	0.5965	
TUB8	TEE4	TEE5	71.00	0.060	63	C-5	140.00000	1.5525	0.0030	1.0682	
TUB9	TEE5	HIDRA5	85.00	0.029	1	C-10	140.00000	8.5352	0.0010	1.5351	
TUB10	TEE5	HIDRA4	25.00	0.029	1	C-10	140.00000	9.0613	0.0020	3.0702	
TUB11	HIDRA4	HIDRA6	63.00	0.029	1	C-10	140.00000	6.3257	0.0010	1.5350	
TUB12	TEE1	HIDRA7	117.00	0.060	63	C-5	140.00000	1.2107	0.0020	0.7121	
TUB13	HIDRA7	HIDRA8	34.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3430	0.0010	0.5965	

				2							
				2 posiciones							
				6 horas							
				6 días							
	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3902	
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.4688	0.0080	1.3902	
TUB15	TEE6	HIDRA17	32.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.0000	0.0000	0.0000	
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.0856	90	C-5	140.00000	1.5938	0.0080	1.3902	
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.0694	75	C-7,5	140.00000	2.8635	0.0080	2.1150	
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.7969	0.0080	1.3902	
TUB19	TEE9	HIDRA9	21.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.4924	0.0080	1.3902	
TUB20	HIDRA9	TEE10	61.00	0.0712	75	C-5	140.00000	2.7373	0.0070	1.7582	
TUB21	TEE10	HIDRA10	10.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3625	0.0020	1.1930	
TUB22	HIDRA10	HIDRA12	51.00	0.0288	1	C-10	140.00000	5.1209	0.0010	1.5350	
TUB23	TEE10	TEE11	35.00	0.0712	75	C-5	140.00000	0.8425	0.0050	1.2559	
TUB24	TEE11	HIDRA13	9.00	0.0288	1	C-10	140.00000	0.9033	0.0010	1.5351	
TUB25	TEE11	TEE12	49.00	0.0598	63	C-5	140.00000	1.8254	0.0040	1.4243	
TUB26	TEE12	HIDRA14	10.00	0.0288	1	C-10	140.00000	1.0034	0.0010	1.5351	
TUB27	TEE12	TEE13	74.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	5.6890	0.0030	1.7901	
TUB28	TEE13	HIDRA15	16.00	0.0288	1	C-10	140.00000	1.6067	0.0010	1.5350	
TUB29	TEE13	TEE14	107.00	0.0452	1 1/2	C-10	140.00000	4.3186	0.0020	1.2467	
TUB30	TEE14	HIDRA11	27.00	0.0288	1	C-10	140.00000	2.7112	0.0010	1.5351	
TUB31	TEE14	HIDRA16	48.00	0.0288	1	C-10	140.00000	4.8201	0.0010	1.5351	

				3							
				2 posiciones							
				6 horas							
				6 días							
	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)	
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0938	0.0080	1.3901	
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3901	
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4683	0.0080	1.3901	
TUB15	TEE6	HIDRA17	32.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3223	0.0010	0.5965	
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.2444	0.0070	1.2163	
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2341	0.0070	1.8504	
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6223	0.0070	1.2163	
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4756	0.0070	1.2163	
TUB33	TEE15	HIDRA18	58.00	0.060	63	C-5	140.00000	1.2686	0.0030	1.0681	
TUB35	HIDRA19	HIDRA20	45.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.5183	0.0010	1.5350	
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.2668	0.0040	0.6950	
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	0.6313	0.0040	1.0574	
TUB38	TEE16	HIDRA21	41.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	1.6533	0.0020	1.2464	
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.2188	0.0020	0.5540	
TUB45	HIDRA21	TEE19	46.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.6179	0.0010	1.5350	
TUB46	TEE19	HIDRA22	25.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.5107	0.0010	1.5354	
TUB42	TEE17	HIDRA24	58.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.8240	0.0010	1.5351	
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.0142	0.0010	0.2770	
TUB47	TEE18	HIDRA23	20.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.0083	0.0010	1.5351	
TUB34	HIDRA18	HIDRA19	103.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	3.7358	0.0020	1.1929	

			4							
			2 posiciones							
			6 horas							
			6 días							
Diametro	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0938	0.0080	1.3902
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3902
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4688	0.0080	1.3902
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.5938	0.0080	1.3902
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.8635	0.0080	2.1149
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.7969	0.0080	1.3902
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6094	0.0080	1.3902
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9609	0.0080	1.3902
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2778	0.0080	2.1149
TUB38	TEE16	HIDRA21	41.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	0.4587	0.0010	0.6234
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	2.2207	0.0070	1.9389
TUB48	TEE24	HIDRA25	87.00	0.060	63	C-5	140.00000	4.8972	0.0050	1.7802
TUB49	HIDRA25	TEE25	93.00	0.058	63	C-7,5	140.00000	3.8872	0.0040	1.4933
TUB50	TEE25	HIDRA28	28.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	1.0154	0.0020	1.1930
TUB51	HIDRA28	HIDRA29	51.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.1211	0.0010	1.5351
TUB52	TEE25	HIDRA26	37.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	1.3418	0.0020	1.1930
TUB53	HIDRA26	HIDRA27	53.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.3220	0.0010	1.5351
TUB54	TEE24	HIDRA32	61.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1099	0.0020	0.3475
TUB55	HIDRA32	HIDRA31	46.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0232	0.0010	0.1738
TUB45	HIDRA21	TEE19	46.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.6211	0.0010	1.5356
TUB46	TEE19	HIDRA22	25.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.5107	0.0010	1.5352
TUB143	TEE21	TEE24	54.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9885	0.0070	1.2164
TUB42	TEE17	HIDRA24	58.00	0.029	1	C-10	140.00000	0.0000	0.0000	0.0000
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.5122	0.0070	1.9389
TUB44	TEE18	TEE20	22.00	0.068	75	C-10	140.00000	1.2527	0.0070	1.9389
TUB118	HIDRA22	HIDRA30	41.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.1169	0.0010	1.5351

			5							
			2 posiciones							
			6 horas							
			6 días							
Diametro	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0938	0.0080	1.3901
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3901
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4690	0.0080	1.3901
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.5940	0.0080	1.3901
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.8647	0.0080	2.1148
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.7971	0.0080	1.3901
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6094	0.0080	1.3901
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9612	0.0080	1.3901
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2788	0.0080	2.1148
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	2.8447	0.0080	2.2158
TUB54	TEE24	HIDRA32	61.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.4299	0.0080	1.3901
TUB55	HIDRA32	HIDRA31	46.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.0784	0.0080	1.3901
TUB56	HIDRA31	TEE26	17.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.3984	0.0080	1.3901
TUB57	TEE26	HIDRA33	44.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.4182	0.0010	1.5351
TUB58	TEE26	TEE27	33.00	0.083	90	C-7,5	140.00000	0.6858	0.0070	1.2814
TUB59	TEE27	HIDRA40	44.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.4180	0.0010	1.5350
TUB60	TEE27	HIDRA34	63.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.4082	0.0060	1.5861
TUB61	HIDRA34	HIDRA35	73.00	0.029	1	C-10	140.00000	7.3301	0.0010	1.5351
TUB63	TEE29	HIDRA38	40.00	0.029	1	C-10	140.00000	14.4973	0.0020	3.0699
TUB64	TEE29	HIDRA36	37.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	1.4929	0.0020	1.2464
TUB65	HIDRA36	HIDRA37	75.00	0.029	1	C-10	140.00000	7.5308	0.0010	1.5350
TUB66	HIDRA38	HIDRA39	37.00	0.029	1	C-10	140.00000	3.7153	0.0010	1.5351
TUB62	HIDRA34	TEE28	15.00	0.058	63	C-7,5	140.00000	0.6272	0.0040	1.4933
TUB67	TEE28	TEE29	49.00	0.057	63	C-10	140.00000	2.3057	0.0040	1.5675
TUB143	TEE21	TEE24	54.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.2659	0.0080	1.3901
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.6565	0.0080	2.2158
TUB44	TEE18	TEE20	22.00	0.068	75	C-10	140.00000	1.6047	0.0080	2.2158

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Habiéndose desarrollado las diferentes evaluaciones en cada uno de los sub sectores de riego, así mismo verificando todas las componentes del sistema de riego en evaluación, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- a. El empleo del sistema de riego presurizado por aspersion es favorable para las condiciones geográficas que la sierra ofrece, manifestando mayor uniformidad en aquellas zonas donde la presencia del viento no es muy fuerte, no recomendándose su empleo entre las 15:00 a 17:00 horas, donde el viento manifiesta fuertes alteraciones. Teniendo en cuenta estas consideración las pruebas que se realizaron en horas de la mañana aproximadamente a las 9 de la mañana, en ausencias de los vientos, los valores hallados se encuentran dentro del rango aceptable; en el sub sector I se tiene una uniformidad de la zona evaluada entre 78.49% a 81.88%, uniformidad de instalación de 55.03% a 77.9%, una eficiencia de aplicación de 35.21% a 44.64% y un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.49% a 81.88%, mientras que en el sub sector II se tiene una uniformidad de la zona evaluada entre 58.63% a 80.75%, uniformidadde instalación de 60.77% a 63.00%, una eficiencia de

aplicación de 51.81% a 57.52% y un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.90% a 80.75%.

- b. En cuanto a la evaluación agronómica y de acuerdo a los cálculos obtenidos podemos señalar que la elección del aspersor en ambos sectores es el correcto ya que el suelo tiene una velocidad de infiltración 8.85 mm/h que es superior a la precipitación del aspersor que es 7.14. mm/h, como es de saber en todo el sistema de riego instalado hace mucha falta la capacitación técnica para la operación y mantenimiento del sistema y no tiene en cuenta el intervalo de riego ni las horas de riego, luego de los cálculos realizados se tiene como resultado un intervalo de riego de 6 días, para ambos sub sectores de riego.
- c. En cuanto a la evaluación del diseño hidráulico, la simulación hidráulica se realizó por el software de watercad, hallándose las presiones de diseño en los cinco sectores divididos por la programación de riego planteada en el presente trabajo: en el primero sector la presiones en el rango de 20.61 m.c.a a 43.69 m.c.a, en el segundo sector de 15.81 m.c.a a 48.58 m.c.a, el tercer sector de 12.95 m.c.a a 72.86 m.c.a, el cuarto sector de 21.21 m.c.a a 60.75 m.c.a, el quinto sector de 26.51 m.c.a a 44.88 m.c.a.
- d. La programación de riego se realizó, determinando el régimen de riego de los cultivos de la zona, para lo cual se hizo el cálculo preliminar de la lámina de riego, la dosis bruta y el intervalo de riego, datos iniciales sobre el clima, suelo, parcela, fuente de agua y el tipo de sistema de riego a utilizar.
El volumen de agua aprovechable es de 15.90 lt/seg, el tiempo de riego promedio para el cultivo es de 6 horas/día aproximadamente, el intervalo de riego es cada 10 días.
- e. Es necesario cuidar operativamente el sistema desde su diseño, esto permitirá obtener la presión de operación que requiere cada hidrante e iniciara en la uniformidad del riego. En el marco de riego al tratar el funcionamiento de un solo lateral de riego por cada hidrante para un instante de riego no se llega a obtener un marco entre aspersores y entre

aspersores y entre laterales solo habiéndose marco entre aspersores para lograr un marco de 15 x 15m se tiene que traslapar las láminas ubicadas siempre a 15 metros el lateral, luego de haber regado un primer instante. Se recomienda en lo posible hacer funcionar dos laterales simultáneos para que pueda existir marco de riego y obtener buena eficiencia de riego.

- f. Las eficiencias de requerimiento obtenidas mostradas en los cuadros N° 6, 7, y 8 referidas en los tiempos de riego según los parámetros hídricos del suelo, refiere que no se llega a cubrir el 100% del volumen requerido por el cultivo. Son las condiciones desfavorables que se presentan en el área de riego las que dificultan uniformidad; siempre hay zonas que reciben mayor agua que otras, lo adecuado sería aumentar el tiempo de riego para cada fase aunque esto ocasionaría mayores pérdidas por percolación; pero lo importante es obtener una eficiencia sobre el 75% en el marco de riego y una eficiencia de requerimiento sobre 98%.
- g. Las demostraciones y puestas en funcionamiento del sistema, aprovechando la aplicación de las evaluaciones realizadas y la permanente capacitación a los usuarios, ha permitido asimilación del manejo del riego por aspersión, garantizando su sostenibilidad en el tiempo.

5.2. RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos y habiéndose cumplido con los objetivos del trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

- a. Se sugiere seguir con el planteamiento de turno de riego distribución y planificación por cada usuario, días y horas de riego. Sin este patrón de distribución las condiciones de operación se desvirtuarán considerablemente afectando así a la uniformidad de riego en todo el sector.
- b. Cuando en la aplicación del sistema de riego se note mucha variación de presión y operación de hidrantes se recomienda colocar reguladores de presión para así obtener un tiempo de riego uniforme en cada lateral de riego.
- c. Con la finalidad de mejorar la uniformidad de riego se recomienda colocar en un mediano plazo cortinas rompe vientos. Estas cortinas ayudaran no

- solo a mejorar la uniformidad sino también el aprovechamiento de las horas en las que el viento es desfavorable para el riego por aspersión. O realizar los riegos en horas de la mañana, para evitar la presencia de vientos.
- d. Se recomienda cuando haya una variación de presión al momento del riego colocar reguladores de presión, para que el riego sea uniforme y así obtener un tiempo de riego uniforme en cada turno de riego de cada sub sector.
 - e. Es necesario para este tipo de proyectos un seguimiento riguroso por parte de las instituciones involucradas en el sistema de riego especialmente en aquellas que proponen la instalación de este tipo de riego; ya que la operación y manejo de redes de riego a presión son totalmente distintos al manejo del riego tradicional.
 - f. Son necesarias evaluaciones constantes y periódicas al sistema de riego, siendo la única forma de obtener datos reales utilizados para el mejor planteamiento de un sistema de riego de esta naturaleza.
 - g. Como recomendación final se plantea que todo sistema de riego por goteo o aspersión debe ser sometido a una simulación con un software a fines para tener un diseño óptimo y adecuado, y como no sobre dimensionar el sistema.

VI.- BIBLIOGRAFIA

➤ LIBROS

- 1) **BERNAOLA C. Alejandro** (2005). Guía de orientación N° 1 – Normas del sistema Nacional de Inversión Pública. Ministerio de Economía y finanzas: Lima, Perú.
- 2) **CASTAÑON L. Guillermo** (1991). Manual de Riego por Aspersión. Ediciones CIDIAT: Merida, Venezuela.
- 3) **DOORENBOS J. y PRUITT W.** (1990). Evapotranspiración del cultivo. FAO Org.
- 4) **E.C BENHAN y W.D BRONDERSON.** (2000). Libro de campaña para descripción y muestreo de suelo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Argentina
- 5) **FUENTES Y JOSÉ L** (2003). Técnicas de riego. Editorial Mundi – Prensa: Madrid, España.
- 6) **GARCIA C, Ignacio BRIONES S, Gregorio** (2007). Sistema de riego por Aspersión y Goteo. Editorial Trillas S.A: México.
- 7) **FRAGOZA D. F.** (2010). Riego por Aspersión y Localizado. IMTA: México
- 8) **KELLER J.** (1983). Manual de Diseño de Sistemas de riego por Aspersión. AndIrrigationEngineering's, UtanStateUniversity: USA.
- 9) **LOPES J. C.** (2001). La programación de riego. Editorial Barcelona: España.
- 10) **LUJAN, G.**(1992). Eficiencia de Riego. Edit. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: Madrid, España.
- 11) **MARTINEZ C. Javier** (1999). Introducción al Riego. Edit. Universidad Politécnica de valencia; Valencia.
- 12) **SHANI M. & SAPIR E.** (1984). El riego por aspersión equipos y métodos. Edit. Ministerio de Agricultura: Israel.
- 13) **PEREZ R.** (2009). Diplomado de riego y Drenaje. UNALM: Lima, Perú.
- 14) **PRONAMACH** (2000). Diseño de Pequeños Sistemas de Riego por Aspersión en Ladera. Curso de Capacitación en riego por Aspersión: Cajamarca, Perú.
- 15) **RENDON, P. L** (1995). Eficiencia de Requerimiento: México.

- 16) **SALVADI, Daniel.** (1996). Planificación de Riego parte I: Riego por Aspersión Ministerio de Agricultura. Centro de Cooperación Internacional para el desarrollo Agrícola (CINADCO): Israel.
- 17) **TARJUELO, J. M.** (2005). Riego por Aspersión y su Tecnología. Edit. Mundi – Prensa 3° edición: Madrid, Barcelona, México.
- 18) **VASQUEZ, V.A Y CHANG, N. L** (1992). El riego Principios Básicos. Tomo I, Universidad Nacional Agraria la Molina: Lima Perú.

➤ **REVISTA**

- 1) **JUNTA DE ANDALUCIA** (2003). Protocolo para la Evaluación de riego por aspersión. Procedimientos para la realización de evaluaciones de riego por aspersión.
- 2) I Curso Taller de especialización de riego por aspersión en laderas, Ayacucho (2008).

➤ **WEB**

- 1) Manual de manejo de pastos cultivados para zonas alto andina.
Recuperado de <http://agroandina.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/pastos-forrajes/manualpastos.pdf>
- 2) Riego por aspersión. Recuperado de <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riego>
- 3) Riego por aspersión. Wikipedia. Recuperado de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Riego_por_aspersion
- 4) Escases de agua en varias zonas del mundo. Recuperado de www.fao.org/news/story/es/item
- 5) Calidad de agua. Recuperado de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



ANEXOS



Anexo A: Ensayos realizados para la determinación de CU

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

NUMERO DE PRUEBA : 01 sub sector I
 FECHA : 17-05-2015
 COMIENZO DE PRUEBA : 9:00 am
 DURACION : 90 min
 VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
 TEMPERATURA : 18.9°C
 DESCARGA DE ASPERSOR : 1600 l/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
 ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
 MARCO DE RIEGO : 37 x 43 m
 TIPO DE RIEGO : Movil
 CULTIVO : Alfalfa
 AREA EVALUADA : 1440 m2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
135	130	125	133	130	125	87	45	35	35	30	45	88	90	100	107	120	125	125	120
2	128	130	128	130	128	108	86	55	30	25	35	68	75	100	105	103	118	120	125
3	125	132	125	125	110	100	80	60	25	45	30	67	73	110	104	115	110	120	115
4	118	120	115	122	100	115	83	74	56	45	72	58	72	75	115	110	120	108	110
5	115	118	110	115	108	110	61	70	63	60	68	69	70	76	84	93	113	116	115
6	110	115	118	120	84	78	76	73	61	60	65	68	78	74	83	90	105	98	110
7	99	94	100	95	80	75	70	61	60	64	55	62	70	68	75	78	83	65	90
8	85	81	75	74	72	67	70	70	75	60	65	55	58	72	65	80	78	87	89
9	68	72	70	68	62	64	60	60	55	55	55	56	68	60	60	64	55	78	45
10	66	68	68	65	75	70	65	60	50	50	65	60	55	65	65	62	64	68	30
11	58	57	60	60	70	65	30	25	30	20	30	25	60	55	60	56	58	55	65
12	35	20	15	25	20	30	20	35	50	25	30	20	25	50	45	25	30	32	25
13	25	30	25	45	50	60	65	75	55	15	25	30	64	45	30	84	55	60	55
14	50	60	45	50	81	78	73	60	68	55	62	60	77	75	80	75	77	85	84
15	85	82	85	80	88	85	80	75	68	55	60	65	72	80	78	80	82	84	77
16	90	75	75	78	85	80	84	85	74	59	66	69	75	70	75	76	75	74	75
17	80	69	75	70	76	84	94	90	79	65	64	69	74	73	70	72	68	55	95
18	155	105	103	84	85	92	82	86	84	74	77	62	70	115	100	115	116	122	125
19	145	125	146	128	120	115	100	78	88	62	68	65	70	105	130	125	128	140	116
20	120	130	145	145	135	120	92	84	85	69	74	60	70	90	134	117	125	115	110
21	125	115	115	152	140	107	85	83	90	67	69	75	85	100	115	110	110	120	100
22	130	135	115	108	103	116	82	88	88	70	75	78	90	110	100	115	118	115	105

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO							
PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)
1,1	135	15	55.73	12,1	35	75	44.27
1,22	65	75	14.24	22,20	105	155	25.73

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |Vi - V|}{n \times V} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{V_i/4}{V}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + 3 \sqrt{\frac{P_{mz}}{P_m}}}{4}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{r} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_e}{S \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{I_a - I_p}{I_a} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{S_l \times S_m} \right) \times 100$$

$$E_a = \left(\frac{h_m}{q} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Udzona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Pérdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lámina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviómetro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Número de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores más bajos	(mm)
Pmax	: Presión máxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presión de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviómetro	(m ²)
t	: Tiempo de duración de la prueba	(min)
La	: Lámina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
SI	: Separación entre líneas de aspersor	(m)
Sm	: Separación entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS

n	=	440.00	S	=	18,106.24 m ²
Σ Vi - Vm	=	5,578.91 mm	t	=	90.00 min
Σ V total	=	34880.00 mm	q	=	10.09 m ³ /h
Vmedio	=	67.00 mm	SI	=	36.00 m
V1/4	=	4878.00 mm	Sm	=	40.00 m
Vm 1/4	=	50.35 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	10090.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1440.00 m ²

RESULTADOS

CU =	81.08	%	La =	10.51	mm
Udzona =	75.15	%	Pe =	64.79	mm
Udinstal =	77.90	%	qr =	7.01	mm/h
Pm = Lp =	3.70	mm	Ea =	35.21	%
hm =	2.47	mm/h	Lp =	3.70	mm

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

NUMERO DE PRUEBA : 02 sub sector I
FECHA : 24-05-2015
COMIENZO DE PRUEBA : 9:00 am
DURACION : 90 min
VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
TEMPERATURA : 18.9°C
DESCARGA DE ASPERSOR : 9,825 m³/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
MARCO DE RIEGO : 37 x 43 m
TIPO DE RIEGO : Movil
CULTIVO : Alfalfa
AREA EVALUADA : 1440 m²

<input checked="" type="checkbox"/>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	<input checked="" type="checkbox"/>
	1	122	116	112	120	118	112	78	45	35	35	30	45	82	82	90	96	108	114	112	108	
	2	115	116	115	118	115	98	75	50	30	30	25	35	62	68	90	95	64	106	108	114	
	3	112	120	112	112	100	90	72	54	25	42	40	30	60	66	100	94	104	100	108	104	
	4	106	108	104	110	90	104	75	68	50	50	40	65	52	65	68	104	100	108	98	100	
	5	104	106	100	104	98	100	55	64	58	60	54	60	62	65	68	76	84	102	104	104	
	6	68	104	106	108	76	70	68	66	55	54	54	60	60	70	66	75	82	95	88	100	
	7	90	85	90	86	72	68	65	55	55	60	58	55	56	65	60	68	70	75	60	82	
	8	76	75	68	66	65	60	65	64	68	64	54	60	50	65	65	60	72	70	78	80	
	9	60	65	65	60	56	58	54	54	50	45	50	55	50	52	54	54	58	50	70	40	
	10	60	60	60	60	68	64	60	54	45	50	45	60	54	62	60	60	56	58	62	30	
	11	52	50	55	54	60	60	30	25	30	25	25	30	25	50	50	54	50	52	50	60	
	12	32	25	20	25	25	30	28	32	45	25	30	30	25	25	45	45	25	30	35	25	
	13	25	28	25	41	45	54	60	68	50	45	25	25	30	60	40	35	76	50	55	50	
	14	45	54	40	45	74	70	66	54	60	50	50	56	55	70	68	72	68	70	78	76	
	15	78	74	75	72	80	78	72	68	60	54	50	54	60	66	72	70	72	74	76	70	
	16	80	68	70	70	78	72	76	75	68	54	55	60	62	68	64	68	68	70	68	68	
	17	72	62	68	65	68	76	85	80	72	60	60	58	62	68	66	64	65	62	50	86	
	18	140	95	95	76	76	84	74	75	76	66	68	70	56	64	104	90	104	104	110	114	
	19	130	112	130	115	108	104	90	70	80	68	56	62	60	64	95	118	112	115	126	104	
	20	108	118	132	130	122	108	85	76	78	60	62	68	54	65	80	125	105	112	104	100	
	21	112	104	104	138	126	96	75	75	82	60	60	64	68	78	90	104	100	100	108	90	
	22	118	122	104	100	64	104	74	80	80	75	65	70	70	82	98	90	104	106	104	95	

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO

PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)
1,1	122	20	50.08	12,1	32	68	39.92
1,22	60	68	11.92	22,20	95	140	23.08

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |VI - V_i|}{n \times V} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{V_i \cdot t}{V}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + 3 \sqrt{\frac{P_{mCZ}}{P_m}}}{4}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{t} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_s}{S \times t \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{I_a - L_p}{I_a} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{S_i \times S_m} \right) \times 100$$

$$E_a = \left(\frac{h_m}{qr} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Udzona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Pérdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lámina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviómetro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Número de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores más bajos	(mm)
Pmax	: Presión máxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presión de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviómetro	(m ²)
t	: Tiempo de duración de la prueba	(min)
La	: Lámina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
SI	: Separación entre líneas de aspersor	(m)
Sm	: Separación entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS

n	=	440.00	S	=	18,106.24 m ²
Σ Vi - Vm i	=	7,013.45 mm	t	=	90.00 min
Σ V total	=	31,643.00 mm	q	=	10.09 m ³ /h
Vmedio	=	80.14 mm	SI	=	36.00 m
V1/4	=	4,590.00 mm	Sm	=	40.00 m
Vm 1/4	=	50.73 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	10,090.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1,440.00 m ²

RESULTADOS

CU =	80.11	%	La =	10.51	mm
Udzona =	63.30	%	Pe =	57.89	mm
Udinstal =	65.62	%	qr =	7.01	mm/h
Pm = Lp =	4.43	mm	Ea =	42.11	%
hm =	2.95	mm/h	Lp =	4.43	mm

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

NUMERO DE PRUEBA : 03 sub sector I
 FECHA : 31-05-2015
 COMIENZO DE PRUEBA : 11:30 am
 DURACION : 90 min
 VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
 TEMPERATURA : 18.9°C
 DESCARGA DE ASPERSOR : 9,825 m3/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
 ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
 MARCO DE RIEGO : 37 x 43 m
 TIPO DE RIEGO : Movil
 CULTIVO : Alfalfa
 AREA EVALUADA : 1440 m2

⊠	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	⊠	
	1	128	122	118	125	125	118	82	45	35	40	30	45	84	85	95	102	115	118	118	115	
	2	120	125	122	125	120	102	80	55	30	35	25	35	64	72	95	100	98	112	114	118	
	3	118	125	118	118	104	95	76	58	25	45	45	30	64	60	104	98	110	104	114	110	
	4	112	114	110	115	95	109	78	70	55	50	45	68	55	68	70	110	105	114	102	105	
	5	110	112	105	110	102	104	60	66	60	60	60	64	65	66	72	80	88	108	110	100	
	6	104	110	112	115	80	74	72	70	60	60	60	60	64	74	70	78	85	100	65	85	
	7	94	90	95	90	75	72	66	60	65	62	60	52	58	66	64	72	74	78	60	84	
	8	80	76	75	70	68	65	66	66	70	66	55	60	52	55	68	62	76	74	82	55	
	9	64	68	66	64	58	60	57	60	55	50	50	52	53	64	60	60	60	52	74	35	
	10	62	64	64	62	75	66	62	62	50	55	50	65	58	52	65	62	58	60	64	60	
	11	55	54	56	60	66	60	30	30	35	40	35	28	30	58	55	60	55	55	55	62	
	12	35	25	30	25	30	30	35	35	50	35	30	28	25	30	50	45	35	35	35	35	
	13	25	28	25	45	50	60	70	70	55	50	25	25	30	60	45	30	80	55	60	55	
	14	50	60	45	48	76	75	58	58	65	55	50	58	60	75	70	76	70	75	80	80	
	15	80	78	80	76	84	80	75	75	64	58	52	60	60	68	76	74	76	78	80	75	
	16	85	75	72	74	80	76	80	80	70	60	56	62	65	70	66	70	72	70	70	70	
	17	76	65	72	66	72	79	85	85	75	65	60	60	65	70	69	66	68	65	70	90	
	18	148	100	98	80	80	88	80	80	80	70	70	75	58	66	110	95	110	110	115	118	
	19	135	118	140	120	114	110	74	74	82	70	58	64	62	66	100	125	118	120	135	110	
	20	114	125	138	140	128	114	80	80	80	60	65	70	58	66	85	126	110	118	110	104	
	21	118	110	110	144	135	100	78	78	85	62	65	65	72	80	95	110	104	104	115	95	
	22	125	128	110	105	110	110	85	85	80	75	66	72	75	85	104	95	110	112	110	100	
⊠																					⊠	

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO							
PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	Vi - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	Vi - Vml (ml)
1,1	128	25	52.05	12,1	35	70	40.95
1,22	60	70	15.95	22,20	100	148	24.05

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |Vi - Vml|}{n \times V} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{V_1/d}{V}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + 3 \sqrt{\frac{P_{mz}}{P_m}}}{4}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{r} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_m}{SE \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{L_s - L_p}{L_s} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{SI \times Sm} \right) \times 100$$

$$Ea = \left(\frac{h_m}{qr} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Udzona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Perdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lamina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviometro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Numero de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores mas bajos	(mm)
Pmax	: Presion maxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presion de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviometro	(m ²)
t	: Tiempo de duracion de la prueba	(min)
La	: Lamina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
Sl	: Separacion entre lineas de aspersor	(m)
Sm	: Separacion entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CALCULO DE LOS DISTINTOS PARAMETROS

n	=	440.00	S	=	18,106.24 m ²
∑ Vi - Vm	=	8,039.56 mm	t	=	90.00 min
∑ V total	=	33,419.00 mm	q	=	10.09 m ³ /h
Vmedio	=	84.95 mm	Sl	=	36.00 m
V1/4	=	4,961.00 mm	Sm	=	40.00 m
Vm 1/4	=	45.10 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	10,090.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1,440.00 m ²

RESULTADOS

CU =	78.49	%	La =	10.51	mm
Udzona =	53.09	%	Pe =	55.36	mm
Udinstal =	55.03	%	qr =	7.01	mm/h
Pm = Lp =	4.69	mm	Ea =	44.64	%
hm =	3.13	mm/h	Lp =	4.69	mm

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

NUMERO DE PRUEBA : 01 sub sector I
 FECHA : 17-05-2015
 COMIENZO DE PRUEBA : 9:00 am
 DURACION : 90 min
 VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
 TEMPERATURA : 18.9°C
 DESCARGA DE ASPERSOR : 1600 l/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
 ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
 MARCO DE RIEGO : 37 x 43 m
 TIPO DE RIEGO : Movil
 CULTIVO : Alfalfa y arveja
 AREA EVALUADA : 1440 m2

⊗	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	⊗
1	172	168	165	148	125	186	168	152	110	60	65	65	92	108	118	133	134	141	135	150	148	140	
2	145	155	190	115	164	193	180	143	105	65	60	60	105	113	118	128	122	134	138	125	174	160	
3	156	153	183	134	170	170	140	125	118	55	60	60	110	116	125	122	138	134	145	156	185	182	
4	152	155	182	135	155	128	105	115	110	55	60	60	112	115	118	125	133	157	168	17	176	138	
5	165	125	118	138	126	120	118	110	98	60	55	55	80	110	110	120	135	166	160	160	154	173	
6	1119	130	128	123	118	110	105	98	85	60	60	60	75	85	90	110	117	124	152	155	155	130	
7	115	126	130	128	122	100	102	98	100	70	72	72	75	80	75	74	99	95	138	120	144	130	
8	112	115	125	121	110	85	90	94	95	65	65	65	65	70	90	95	100	90	100	145	95	70	
9	115	94	122	112	98	75	110	80	85	60	65	65	68	70	85	90	98	82	86	85	88	65	
10	70	65	70	65	75	75	60	75	70	72	70	70	75	68	70	75	80	68	70	85	65	60	
11	65	60	55	60	60	60	55	60	60	65	60	60	65	68	70	65	65	65	50	70	65	60	
12	60	55	50	55	88	55	60	65	60	55	60	60	60	65	70	68	60	65	65	70	60	65	
13	65	60	75	80	90	75	68	60	80	60	65	65	55	60	65	70	75	65	68	75	70	60	
14	125	145	136	114	96	80	79	80	95	65	60	60	75	80	82	85	75	80	82	78	75	80	
15	146	160	128	113	105	95	73	95	95	80	65	65	70	85	80	85	62	74	90	94	85	90	
16	150	148	125	123	138	118	103	95	88	75	68	68	78	80	90	80	80	110	100	98	95	92	
17	174	143	118	126	128	141	120	88	115	70	68	68	75	75	88	95	110	104	144	118	95	150	
18	135	132	108	146	155	95	115	115	112	80	80	80	85	92	98	112	133	127	148	150	144	140	
19	167	130	130	142	152	148	145	112	115	80	75	75	95	105	110	122	128	164	154	140	142	125	
20	160	125	135	144	140	154	114	115	125	60	80	80	100	100	105	132	145	144	143	162	134	115	
21	175	148	144	120	180	153	144	125	125	80	80	80	65	90	118	120	124	105	128	148	154	145	
22	134	150	123	164	181	158	174	142	100	55	75	75	85	105	120	123	145	130	129	154	146	150	
⊗																							⊗

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO							
PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)
1,1	172	45	65.63	12,1	60	105	46.37
1,22	60	104	46.37	22,22	150	195	43.63

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |vi - v|}{n \times v} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{v1 + v}{v}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + 3 \sqrt{\frac{P_{mz}}{P_m}}}{4}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{v_m}{s} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{r} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_m}{36 \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{L_s - L_p}{L_s} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{31 \times 5m} \right) \times 100$$

$$Ea = \left(\frac{h_m}{qr} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{v_m}{s} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Ud zona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Pérdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lámina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviómetro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Número de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores más bajos	(mm)
Pmax	: Presión máxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presión de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviómetro	(m ²)
t	: Tiempo de duración de la prueba	(min)
La	: Lámina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
SI	: Separación entre líneas de aspersor	(m)
Sm	: Separación entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS

n	=	484.00	S	=	18,106.24 m ²
Σ Vi - Vm	=	9,912.31 mm	t	=	90.00 min
Σ V total	=	51,481.00 mm	q	=	12.59 m ³ /h
V medio	=	106.37 mm	SI	=	43.00 m
V 1/4	=	7715.00 mm	Sm	=	43.00 m
Vm 1/4	=	63.76 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	12,590.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1,849.00 m ²

RESULTADOS

CU =	80.75	%	La =	10.21	mm
Ud zona =	59.94	%	Pe =	42.48	mm
Ud instal =	62.14	%	qr =	6.81	mm/h
Pm = Lp =	5.87	mm	Ea =	57.52	%
hm =	3.92	mm/h	Lp =	5.87	mm

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

NUMERO DE PRUEBA : 02 sub sector II
FECHA : 24-05-2015
COMIENZO DE PRUEBA : 10:20 am
DURACION : 90 min
VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
TEMPERATURA : 18.9°C
DESCARGA DE ASPERSOR : 9,825 m3/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
MARCO DE RIEGO : 37 x 43 m
TIPO DE RIEGO : Movil
CULTIVO : Alfalfa y arveja
AREA EVALUADA : 1849 m2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	168	165	162	145	122	182	165	149	108	88	83		81	90	106	116	130	131	138	132	147	145	137
	142	152	186	113	161	161	176	140	103	93	87		92	103	110	116	125	120	131	135	122	170	157
	153	150	179	131	167	167	137	122	116	110	93		88	108	114	122	120	135	161	142	153	190	178
	149	152	178	132	152	152	103	113	108	96	83		87	108	113	116	122	130	161	164	170	161	135
	162	122	116	135	123	123	116	108	96	108	78		73	78	108	108	118	132	154	165	157	172	164
	117	127	125	120	116	116	103	96	83	73	76		71	73	83	88	108	115	163	149	152	151	170
	113	123	127	125	120	120	100	94	98	93	69		72	73	78	73	72	96	121	135	186	152	157
	110	113	122	118	108	108	88	92	92	72	64		64	64	69	88	93	98	93	103	142	140	176
	113	92	119	110	96	96	108	78	83	67	59		64	67	69	83	88	93	88	84	120	125	160
	96	78	110	108	83	83	83	74	69	69	71		68	73	67	69	73	78	80	78	92	86	83
	88	73	76	73	69	69	72	58	59	64	64		56	64	67	68	63	64	67	59	69	64	60
	60	55	45	50	60	60	60	60	64	69	66		40	45	50	50	60	45	64	64	68	55	60
	50	45	55	50	60	60	67	60	55	60	50		60	55	55	63	65	73	64	67	60	55	60
	55	60	65	60	55	55	77	70	78	69	64		59	73	78	80	83	73	78	80	76	73	78
	143	157	125	112	94	94	71	93	93	88	78		64	68	83	78	83	61	72	88	92	93	88
	147	145	122	120	103	103	101	96	92	88	73		67	76	78	88	78	103	108	98	96	92	90
	170	140	116	123	135	135	118	108	86	78	69		67	74	73	86	93	108	102	141	116	64	147
	132	129	106	144	125	125	113	125	113	85	78		78	83	90	96	110	130	124	140	147	140	137
	164	127	127	140	152	152	142	118	110	75	78		73	90	85	108	120	125	160	145	137	140	122
	157	122	132	141	149	149	142	127	110	60	65		78	75	98	103	129	142	140	151	159	130	112
	171	145	141	118	137	137	141	132	80	60	55		73	60	75	116	118	122	103	140	145	150	142
	131	147	120	161	176	176	170	140	85	75	60		75	80	85	118	120	142	127	125	151	144	147

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO

PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	IVI - Vml (ml)
1,1	168	40	63.61	12,1	60	102	44.39
11,22	60	101	44.39	22,22	147	190	42.61

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |v_i - \bar{v}|}{n \times \bar{v}} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{v_i/\bar{v}}{v}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + \sqrt{\frac{P_m}{P_m}}}{2}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{v_m}{s} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{c} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_e}{SE \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{L_s - L_p}{L_s} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{SI \times Sm} \right) \times 100$$

$$Ea = \left(\frac{h_m}{qr} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{v_m}{s} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Udzona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Pérdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lámina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviómetro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Número de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores más bajos	(mm)
Pmax	: Presión máxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presión de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviómetro	(m ²)
t	: Tiempo de duración de la prueba	(min)
La	: Lámina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
SI	: Separación entre líneas de aspersor	(m)
Sm	: Separación entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS

n	=	484.00	S	=	18,106.24 m ²
Σ Vi-Vm	=	10,489.77 mm	t	=	90.00 min
Σ V total	=	50,524.00 mm	q	=	12.59 m ³ /h
Vmedio	=	104.39 mm	SI	=	43.00 m
V1/4	=	7,676.00 mm	Sm	=	43.00 m
Vm 1/4	=	63.44 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	12,590.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1,849.00 m ²

RESULTADOS

CU =	79.24	%	La =	10.21	mm
Udzona =	60.77	%	Pe =	43.55	mm
Udinstal =	63.00	%	qr =	6.81	mm/h
Pm = Lp =	5.77	mm	Ea =	56.45	%
hm =	3.84	mm/h	Lp =	5.77	mm

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

"EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

NUMERO DE PRUEBA : 03 sub sector II
FECHA : 31-05-2015
COMIENZO DE PRUEBA : 02:20 pm
DURACION : 90 min
VELOCIDAD DEL VIENTO : 1.8 m/seg.
TEMPERATURA : 18.9°C
DESCARGA DE ASPERSOR : 9,825 m3/h

ALTURA DEL ELEVADOR : 1.40 m
ESPACIO ENTRE PLUVIOMETROS : 2 x 2 m
MARCO DE RIEGO : 43 x 43 m
TIPO DE RIEGO : Movil
CULTIVO : Alfalfa y arveja
AREA EVALUADA : 1849 m2

	<input type="checkbox"/>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	<input type="checkbox"/>
1		138	134	141	117	119	133	113	110	103	93	87		78	84	99	108	122	123	124	124	138	136	128	
2		133	141	136	131	125	114	110	108	101	87	69		86	96	103	108	117	112	126	126	115	160	147	
3		105	123	149	141	132	133	121	96	92	92	73		82	101	106	115	112	126	133	133	143	179	167	
4		115	130	128	136	150	117	112	101	96	87	69		81	103	105	108	115	122	154	154	160	150	126	
5		128	132	138	132	116	122	103	90	94	78	73		89	73	101	101	110	124	139	154	147	161	154	
6		138	95	108	132	95	101	87	80	89	69	62		68	69	78	82	101	107	126	139	142	141	159	
7		84	87	90	92	101	96	73	82	73	71	59		69	59	73	89	82	91	96	126	174	142	147	
8		82	87	86	82	98	57	78	73	78	64	65		59	62	64	78	89	92	79	96	45	55	60	
9		60	65	71	75	73	69	78	75	73	69	59		64	69	64	64	87	87	73	79	75	55	60	
10		60	64	25	62	59	69	64	69	55	64	58		55	43	62	50	82	73	55	73	72	59	60	
11		59	55	64	59	59	55	50	55	45	55	55		54	42	50	49	78	60	55	55	64	54	55	
12		60	55	45	35	30	35	45	55	40	40	45		50	45	40	43	64	64	70	55	65	50	60	
13		45	60	45	50	65	60	65	60	64	64	66		55	69	69	67	50	60	85	70	45	55	60	
14		50	45	70	85	90	69	80	73	78	62	55		59	64	73	69	69	73	60	85	40	35	45	
15		103	105	115	111	101	78	82	86	87	69	59		73	82	87	87	87	87	113	60	70	60	55	
16		105	115	119	117	112	92	93	90	92	87	64		69	82	87	90	90	108	115	113	115	136	138	
17		109	119	117	113	108	101	96	90	78	101	71		64	73	80	101	101	129	134	115	108	131	160	
18		151	115	108	128	115	110	108	101	90	90	73		73	87	105	111	117	87	136	134	99	121	124	
19		139	142	167	124	142	117	96	105	101	103	78		73	101	103	110	119	136	132	130	119	119	153	
20		143	140	168	123	156	156	128	115	108	87	87		67	90	105	119	119	141	110	132	124	115	147	
21		133	142	174	105	150	177	165	131	96	86	81		73	92	115	124	132	140	120	110	132	136	161	
22		158	154	151	136	115	171	154	139	101	82	78		78	82	104	130	150	145	150	150	113	138	123	

DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO

PLUVIOMETRO F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	Vi - Vml (ml)	PLUVIOM. F-C	Vi (ml)	Vi (ml) (A-Z)	Vi - Vml (ml)
1,1	138	25	42.19	12,1	60	92	35.81
1,22	55	91	40.81	22,22	123	179	27.19

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum |Vi - Vml|}{n \times V} \right) \times 100$$

$$UD_{zona} = 100 \times \frac{V_i / e}{V}$$

$$UD = UD_{zona} \times \frac{1 + 3 \sqrt{\frac{P_{mz}}{Q_m}}}{4}$$

$$P_m = L_p \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

$$h_m = \left(\frac{P_m}{e} \right) \times 60$$

$$L_s = \left(\frac{Q_m}{S \times 60} \right) \times t$$

$$P_e = \left(\frac{I_a - L_p}{I_a} \right) \times 100$$

$$qr = \left(\frac{q}{S \times S_m} \right) \times 100$$

$$E_a = \left(\frac{h_m}{qr} \right) \times 100$$

$$L_p = \left(\frac{V_m}{S} \right) \times 1000$$

PRUEBA DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

“EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO”

CU	: Coeficiente de uniformidad de Christiansen	(%)
Udzona	: Uniformidad de distribución de la zona evaluada	(%)
UD	: Uniformidad de distribución de la zona instalada	(%)
Pm = Lp	: Presipitación Media	(mm)
hm	: Pluviometría Media Recogida	(mm/h)
Pe	: Perdida por evaporación y arrastre	(mm)
La	: Lamina aplicada	(mm)
qr	: Pluviometría Media Aplicada	(mm)
Ea	: Eficiencia de aplicación	(%)
Vi	: Volumen recogido en cada pluviometro	(mm)
Vm	: Media de los volúmenes recogidos	(mm)
n	: Numero de pluviómetros instalados	
Vm 1/4	: Media de la cuarta parte de los valores mas bajos	(mm)
Pmax	: Presion maxima de trabajo medida	(mca)
Pm	: Media de la presion de la zona evaluada	(mca)
S	: Superficie del pluviometro	(m ²)
t	: Tiempo de duracion de la prueba	(min)
La	: Lamina de agua aplicada	(mm)
Qa	: Caudal aplicado	(l/h)
SE	: Superficie de la zona evaluada	(m ²)
q	: Caudal aforado el aspersor	(m ³ /h)
Sl	: Separacion entre líneas de aspersor	(m)
Sm	: Separacion entre aspersores en un ramal	(m)

DATOS PARA EL CALCULO DE LOS DISTINTOS PARAMETROS

n	=	484.00	S	=	18,106.24 m ²
Σ Vi - Vm	=	9,785.91 mm	t	=	90.00 min
Σ V total	=	46,374.00 mm	q	=	12.59 m ³ /h
Vmedio	=	95.81 mm	Sl	=	43.00 m
V1/4	=	6,797.00 mm	Sm	=	43.00 m
Vm 1/4	=	56.17 mm	Pmax	=	55.00 mca
Q	=	12,590.00 l/h	Pm	=	50.00 mca
			SE	=	1,849.00 m ²

RESULTADOS

CU =	78.90	%	La =	10.21	mm
Udzona =	58.63	%	Pe =	48.19	mm
Udinstal =	60.77	%	qr =	6.81	mm/h
Pm = Lp =	5.29	mm	Ea =	51.81	%
hm =	3.53	mm/h	Lp =	5.29	mm



Anexo B: Cálculos de parámetros de diseño agronómicos

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI

Altitud : 3400 msnm
 Proyectista : Mariluna De La Cruz Janampa

DISEÑO AGRONÓMICO

1. DATOS DE ENTRADA

CULTIVO: DIVERSOS

METODO: ASPERSION

DATOS del CLIMA (Agosto)	
Etan [mm/d]	3.69
Ktan	1
Humedad Relativa media HRm [%]	57.60
Velocidad del viento > 3 m/s	de [h]: a [h]:

DATOS de la PARCELA	
Area bruta A [Ha]	31.1
Area neta bajo riego Sr [Ha]	27.99
Espaciamiento entre plantas dp e/ hileras dh [m]	
Pendiente [%]	5

DATOS de la FUENTE de AGUA	
Caudal Qs [m ³ /h]	57.132
Disponibilidad	

DATOS del CULTIVO	
Nombre	Varios
Fase	Media Temp
Kc	0.86
% del área de: bajo riego Par a:	100 100
Profundidad radicular efectiva Zr [m]	0.6
Máximo % de agua aprovechable Pa	50

SISTEMA de RIEGO	
Método	Aspersión
Eficiencia [%] Ef	75
Modelo del Emisor	SILVER 3/4" 5 mm
Presión de operación [atm]	2.5
Caudal del Emisor q [lt/h]	1600
Diámetro efectivo d [m]	28
Angulo de cobertura α [°]	360
Espaciamiento entre emisores de e/ laterales dl [m]	14 16
Número de emisores por planta Nep	
Máximas horas de operación por día	
Hd [h]	10
Días de paro/ciclo	1

DATOS del SUELO	
Textura	Arcillo arenoso
HCc [%w]	10.5
HPm [%w]	2.77
Peso específico aparente [gr/cm ³]	1.36
Velocidad de Infiltración básica I [mm/h]	8.85
Profundidad efectiva [m]	0.4

Inicio

Ir a Resultados >>

DISEÑO AGRONÓMICO

2. RESUMEN DE RESULTADOS

CULTIVO: DIVERSOS

METODO: ASPERSION

ORDEN	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO	FÓRMULA	UNIDAD	VALOR	DES.
1	Lámina disponible/Zr	LDzr	$LDzr = [Hcc - Hpm] * [pea / Pew] * zr * 10$	[mm/zr]	63.08	Nota
2	Volúmen disponible/Zr	VDzr	$VDzr = LDzr * 10$	[m ³ /Ha/zr]	630.77	
3	Lámina aprovechable/Zr	LAzr	$LAzr = [LDzr * Pa] / 100$	[mm/zr]	31.54	
4	% del área bajo riego	Par	$Par = 100\%$	[%]	100	
5	% área bajo riego/planta	ParP		[%]		
6	Diámetro humedecido	d		[m]		
7	Par	$\leq MxAR$				
	Par	$\geq MiAR$				
8	Precipitación horaria	Phr	$Phr = [qe * 100] / [de * dl * Par]$	[mm/hr]	7.14	
	Phr	$\leq I$			ACEPTADO	*
9	Etc	Etc	$ETc = Etan * Ktan * Kc$	[mm/día]	3.2	
10	Intervalo de riego	lr	$lr = [Lazr * Par] / [ETc * 100]$	[días]	9.94	*
11	Intervalo ajustado	lr (aj)	$lr(aj) = INTEGRO[lr]$	[días]	10	
12	Ciclo de riego	CR	$CR = lr(aj) - dp$	[días]	9	*
13	Lámina de riego ajustada	Lr(aj)	$Lr(aj) = [lr * ETc * 100] / Par$	[mm]	31.7	
14	LR (aj)	$\leq Lazr$			ACEPTADO	
15	% agua aprovechable	Pa(aj)	$Pa(aj) = [Lr(aj) * 100] / LDzr$	[%]	50.31	
16	Pa(aj)	$\leq Pa$			RECHAZADO	
17	Lámina bruta	LB	$LB = [Lr(aj) * 100] / Ef$	[mm]	42.31	
18	Dosis bruta	DB	$DB = [LB * Par] / 10$	[m ³ /Ha]	423	
19	Dosis bruta/planta	DBp		[m ³ /Ha]		
20	Horas de riego por turno	Ht	$Ht = LB / Phr$	[h/turno]	5.92	
21	Turnos por día	Td	$Td = INTEGRO[Hm / Ht]$	[turnos/día]	2	*
22	Horas de riego por día	Hd	$Hd = Td * Ht$	[h/día]	11.85	
23	Horas de riego por ciclo	Hc	$Hc = CR * Hd$	[h/ciclo]	106.6	
24	Turnos por ciclo	Tc	$Tc = CR * Td$	[turnos/ciclo]	18	
25	Superficie por turno	St	$St = Sr / Tc$	[Ha/turno]	0.770	
26	Dosis bruta por turno	DBt	$DBt = St * DB$	[m ³ /turno]	325.802	
27	Caudal requerido	Qr	$Qr = DBt / Ht$	[m ³ /h]	55.00	*
28	Qr	$\leq Qs$			ACEPTADO	*
29	# de emisores por turno	Emt	$Emt = Qr * 1000 / qe$	[-]	34	
30	Volúmen bruto por ciclo	VBc	$VBc = DBt * Tc$	[m ³ /ciclo]	5864.44	
31	Vol. Bruto por ciclo/frutales	VBc		[m ³ /ciclo]		
32	Caudal específico	Qe	$Qe = Qr / A$	[m ³ /Ha/h]	1.768	*

Inicio

<< Volver a datos de entrada



Anexo C: Lamina y velocidad de infiltración

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA

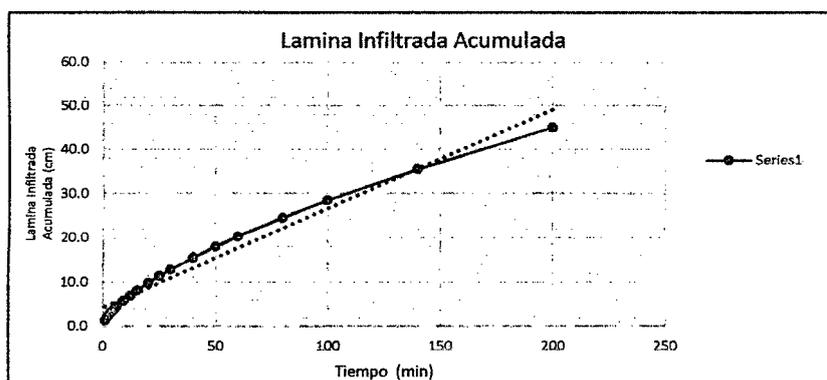
PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI – SOCOS - AYACUCHO"

Hora(1)	Lectura		Tiempo(MIN)		Lamina infiltrada (cm)		Velocidad de infiltracion (cm/hora)		Velocidad de infiltracion (mm/hora)	
	Desenso	Emparejo	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantanea	Acumulado	Instantanea	Acumulado
08:00	25.00		0	0	-	-	-	-	-	-
08:01	26.00		1	1	1.00	1.00	60.00	60.00	600.00	600.00
08:02	26.90		1	2	0.90	1.90	54.00	57.00	540.00	570.00
08:03	27.70		1	3	0.80	2.70	48.00	54.00	480.00	540.00
08:04	28.40		1	4	0.70	3.40	42.00	51.00	420.00	510.00
08:05	29.20		1	5	0.80	4.20	48.00	50.40	480.00	504.00
08:06	29.80		1	6	0.60	4.80	36.00	48.00	360.00	480.00
08:09	31.80		3	9	2.00	6.80	40.00	45.33	400.00	453.30
08:12	33.30		3	12	1.50	8.30	30.00	41.50	300.00	415.00
08:15	34.30	25.00	3	15	1.00	9.30	20.00	37.20	200.00	372.00
08:20	27.00		5	20	2.00	11.30	24.00	33.90	240.00	339.00
08:25	28.50		5	25	1.50	12.80	18.00	30.72	180.00	307.20
08:30	29.50		5	30	1.00	13.80	12.00	27.60	120.00	276.00
08:40	32.00		10	40	2.50	16.30	15.00	24.45	150.00	244.50
08:50	34.00	25.00	10	50	2.00	18.30	12.00	21.96	120.00	219.60
09:00	26.50		10	60	1.50	19.80	9.00	19.80	90.00	198.00
09:20	30.00		20	80	3.50	23.30	10.50	17.48	105.00	174.80
09:40	33.00	25.00	20	100	3.00	26.30	9.00	15.78	90.00	157.80
10:20	29.00		40	140	4.00	30.30	6.00	12.99	60.00	129.90
11:20	32.00	25.00	60	200	7.00	37.30	7.00	11.19	70.00	111.90

AJUSTE DE DATOS POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS:

a). Infiltracion acumulada

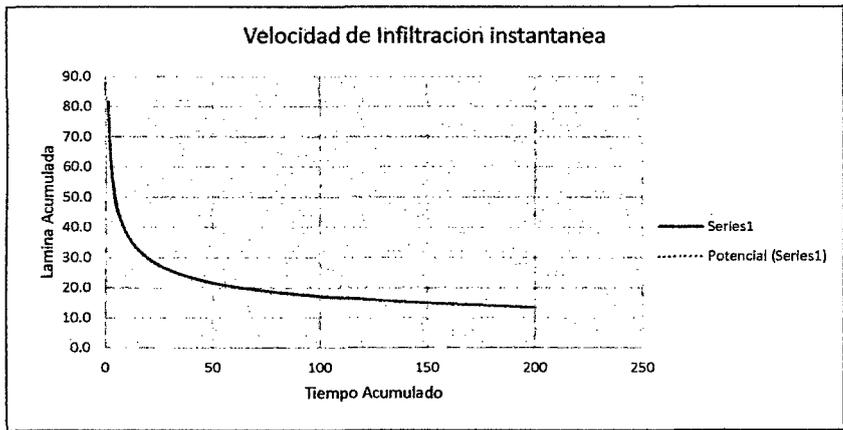
Nº	tiempo(min)	Lacum. (cm)	LogT(x)	LogLacum(Y)	X2	Y2	XY	Y2	XY
1	1	1.36	0.000	0.135	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000
2	2	2.15	0.301	0.333	0.091	0.111	0.100	0.012	0.010
3	3	2.81	0.477	0.449	0.228	0.202	0.214	0.041	0.046
4	4	3.40	0.602	0.532	0.362	0.283	0.320	0.080	0.103
5	5	3.94	0.699	0.596	0.489	0.355	0.416	0.126	0.173
6	6	4.45	0.778	0.648	0.606	0.420	0.504	0.176	0.254
7	9	5.81	0.954	0.764	0.911	0.584	0.729	0.341	0.532
8	12	7.03	1.079	0.847	1.165	0.717	0.914	0.514	0.835
9	15	8.14	1.176	0.911	1.383	0.829	1.071	0.688	1.147
10	20	9.84	1.301	0.993	1.693	0.986	1.292	0.973	1.670
11	25	11.41	1.398	1.057	1.954	1.118	1.478	1.249	2.184
12	30	12.86	1.477	1.109	2.182	1.231	1.639	1.515	2.685
13	40	15.55	1.602	1.192	2.567	1.420	1.909	2.018	3.646
14	50	18.02	1.699	1.256	2.886	1.577	2.134	2.487	4.552
15	60	20.32	1.778	1.308	3.162	1.711	2.326	2.927	5.410
16	80	24.57	1.903	1.390	3.622	1.933	2.646	3.738	7.002
17	100	28.47	2.000	1.454	4.000	2.115	2.909	4.475	8.461
18	140	35.55	2.146	1.551	4.606	2.405	3.328	5.785	11.078
19	200	44.99	2.301	1.653	5.295	2.733	3.804	7.467	14.469
		Σ	23.672	18.179	37.199	20.749	27.735	34.613	64.257



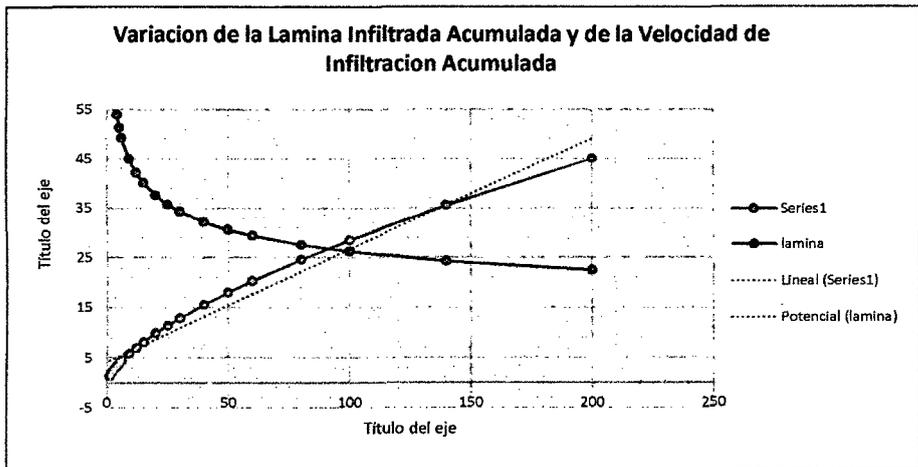
$$i_{acum} = 1.3634T^{0.6599}$$

B.- VELOCIDAD DE INFILTRACION

N°	t(tiempo(min))	i(cm)	LogT(x)	LogI(Y)	X2	Y2	XY
1	1	81.80	0.00	1.91	0.00	3.66	0.00
2	2	64.63	0.30	1.81	0.09	3.28	0.54
3	3	56.30	0.48	1.75	0.23	3.06	0.84
4	4	51.06	0.60	1.71	0.36	2.92	1.03
5	5	47.33	0.70	1.68	0.49	2.81	1.17
6	6	44.48	0.78	1.65	0.61	2.72	1.28
7	9	38.75	0.95	1.59	0.91	2.52	1.52
8	12	35.14	1.08	1.55	1.16	2.39	1.67
9	15	32.58	1.18	1.51	1.38	2.29	1.78
10	20	29.54	1.30	1.47	1.69	2.16	1.91
11	25	27.38	1.40	1.44	1.95	2.07	2.01
12	30	25.74	1.48	1.41	2.18	1.99	2.08
13	40	23.34	1.60	1.37	2.57	1.87	2.19
14	50	21.63	1.70	1.34	2.89	1.78	2.27
15	60	20.33	1.78	1.31	3.16	1.71	2.33
16	80	18.44	1.90	1.27	3.62	1.60	2.41
17	100	17.09	2.00	1.23	4.00	1.52	2.47
18	140	15.24	2.15	1.18	4.61	1.40	2.54
19	200	13.50	2.30	1.13	5.29	1.28	2.60
		Σ	21.371	27.163	31.905	41.747	30.031



$$i = 51.192T^{0.26713}$$



Formulas:

		A = 1.3634
		B = 0.6599

--	--	--

a = 0.8997
b = -0.3401

Donde:

- I acum : lamina infiltrada acumulada (cm)
- I : Velocidad de Infiltracion instantanea (mm/h)
- To : Tiempo de oportunidad (min)
- A, B : Constante de la ecuacion de lamina infiltrada
- a, b : Constante de la ecuacion de velocidad de infiltrada
- R : Grado de confiabilidad de la ecuacion

Por lo tanto el tiempo en el que la velocidad de infiltracion es constante esta dado por la siguiente expresion:



$$T = 204.06 \text{ min}$$

VBI =	0.147 mm/min
VBI =	8.85 mm/h

TEXTURA DEL SUELO	VBI (mm/h)
Arena	50
Franca	25
Limosa	12.5
Franco Arcilloso	8
Arcilloso	2.5

Fuente : Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera, PRONAMACHCS



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



Anexo D: Cálculos de diseño hidráulicos

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS ELEMENTOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO -
PACURI TURNO 01**

N. DE RIEGO	1
N. POSICIONES	2 posiciones
TOROS DE RIEGO	6 horas
REPERENCIA DE TIPO	6 dias

TUBERIA	N. Inic	N. Fin	Long.	Diám.	Diametro	CLASE	Rugos.	P. Carga	Caudal	Velocidad
			(m)	(m)	Nominal (mm)					
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00	0.0935	0.0080	1.3901
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00	0.0962	0.0060	1.0426
TUB3	TEE2	HIDRA1	160.00	0.086	90	C-5	140.00	2.2017	0.0060	1.0426
TUB4	HIDRA1	TEE3	19.00	0.071	75	C-5	140.00	0.4570	0.0050	1.2558
TUB5	TEE3	HIDRA3	30.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00	0.3025	0.0010	0.5965
TUB6	TEE3	TEE4	42.00	0.060	63	C-5	140.00	1.5613	0.0040	1.4242
TUB7	TEE4	HIDRA2	11.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00	0.1111	0.0010	0.5965
TUB8	TEE4	TEE5	71.00	0.060	63	C-5	140.00	1.5525	0.0030	1.0682
TUB9	TEE5	HIDRA5	85.00	0.029	1	C-10	140.00	8.5352	0.0010	1.5351
TUB10	TEE5	HIDRA4	25.00	0.029	1	C-10	140.00	9.0613	0.0020	3.0702
TUB11	HIDRA4	HIDRA6	63.00	0.029	1	C-10	140.00	6.3257	0.0010	1.5350
TUB12	TEE1	HIDRA7	117.00	0.060	63	C-5	140.00	1.2107	0.0020	0.7121
TUB13	HIDRA7	HIDRA8	34.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00	0.3430	0.0010	0.5965

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS NODOS EN FUNCION A
LA PROGRAMACION DE RIEGO -PACURI TURNO 01**

N. DE RIEGO	1
N. POSICIONES	2 posiciones
TOROS DE RIEGO	5 horas
REPERENCIA DE TIPO	8 dias

Nodo	Alt. Piez.	Presión	Consumo	Cota	P.Consigna	P.Margen
	(mca)	(mca)	(m3/s)	(m)	(mca)	(mca)
RESEV1	3,612.00	0.00	-0.008	3,612.0	0.00	0.00
HIDRA1	3,609.61	20.61	0.001	3,589.0	30.00	-9.39
HIDRA2	3,607.48	23.48	0.001	3,584.0	30.00	-6.52
HIDRA3	3,608.85	25.85	0.001	3,583.0	30.00	-4.15
HIDRA4	3,596.98	32.98	0.001	3,564.0	30.00	2.98
HIDRA5	3,597.50	35.50	0.001	3,562.0	30.00	5.50
HIDRA6	3,590.65	43.65	0.001	3,547.0	30.00	13.65
HIDRA7	3,610.70	20.70	0.001	3,590.0	30.00	-9.30
HIDRA8	3,610.35	26.35	0.001	3,584.0	30.00	-3.65

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS ELEMENTOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO - PACURI TURNO 02

N. DE BOMBAS POSICION: TEE10 RIEGO: PACURI PROGRAMA DE RIEGO	2
	2 posiciones
	6 horas
	6 dias

ELEMENTO	N. Inic	N. Fin	Long.	Diám.	Diametro	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
			(m)	(m)	nominal (mm)					
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3902
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.4688	0.0080	1.3902
TUB15	TEE6	HIDRA17	32.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.0000	0.0000	0.0000
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.0856	90	C-5	140.00000	1.5938	0.0080	1.3902
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.0694	75	C-7,5	140.00000	2.8635	0.0080	2.1150
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.7969	0.0080	1.3902
TUB19	TEE9	HIDRA9	21.00	0.0856	90	C-5	140.00000	0.4924	0.0080	1.3902
TUB20	HIDRA9	TEE10	61.00	0.0712	75	C-5	140.00000	2.7373	0.0070	1.7582
TUB21	TEE10	HIDRA10	10.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3625	0.0020	1.1930
TUB22	HIDRA10	HIDRA12	51.00	0.0288	1	C-10	140.00000	5.1209	0.0010	1.5350
TUB23	TEE10	TEE11	35.00	0.0712	75	C-5	140.00000	0.8425	0.0050	1.2559
TUB24	TEE11	HIDRA13	9.00	0.0288	1	C-10	140.00000	0.9033	0.0010	1.5351
TUB25	TEE11	TEE12	49.00	0.0598	63	C-5	140.00000	1.8254	0.0040	1.4243
TUB26	TEE12	HIDRA14	10.00	0.0288	1	C-10	140.00000	1.0034	0.0010	1.5351
TUB27	TEE12	TEE13	74.00	0.0462	1 1/2	C-7,5	140.00000	5.6890	0.0030	1.7901
TUB28	TEE13	HIDRA15	16.00	0.0288	1	C-10	140.00000	1.6067	0.0010	1.5350
TUB29	TEE13	TEE14	107.00	0.0452	1 1/2	C-10	140.00000	4.3186	0.0020	1.2467
TUB30	TEE14	HIDRA11	27.00	0.0288	1	C-10	140.00000	2.7112	0.0010	1.5351
TUB31	TEE14	HIDRA16	48.00	0.0288	1	C-10	140.00000	4.8201	0.0010	1.5351

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS NODOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO - PACURI TURNO 02

N. DE BOMBAS POSICION: TEE10 RIEGO: PACURI PROGRAMA DE RIEGO	2
	2 posiciones
	5 horas
	8 dias

Nodo	Alt. Piez. (mca)	Presión (mca)	Consumo (m3/s)	Cota (m)	P.Consigna (mca)	P.Margen (mca)
RESEV1	3,612.00	0.00	-0.008	3,612.0	0.00	0.00
HIDRA12	3,550.59	27.59	0.001	3,523.0	30.00	-2.41
HIDRA13	3,554.33	23.33	0.001	3,531.0	30.00	-6.67
HIDRA14	3,552.40	22.40	0.001	3,530.0	30.00	-7.60
HIDRA15	3,546.11	33.11	0.001	3,513.0	30.00	3.11
HIDRA9	3,558.81	15.81	0.001	3,543.0	30.00	-14.19
HIDRA10	3,555.71	23.71	0.001	3,532.0	30.00	-6.29
HIDRA11	3,540.69	44.69	0.001	3,496.0	30.00	14.69
HIDRA16	3,538.58	48.58	0.001	3,490.0	30.00	18.58

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS ELEMENTOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO - PACURI
TURNO 03**

N.º DE TURNO	3
POSICIONES DE RIEGO	2 posiciones
T.º DE RIEGO	6 horas
PERIODO DE RIEGO	6 días

Elemento	N. Inic	N. Fin	Long.	Diám.	Diametro	CLASE	Rugos.	P. Carga	Caudal	Velocidad
			(m)	(m)	Nominal (mm)			(mca)		
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0938	0.0080	1.3901
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3901
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4683	0.0080	1.3901
TUB15	TEE6	HIDRA17	32.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	0.3223	0.0010	0.5965
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.2444	0.0070	1.2163
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2341	0.0070	1.8504
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6223	0.0070	1.2163
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4756	0.0070	1.2163
TUB33	TEE15	HIDRA18	58.00	0.060	63	C-5	140.00000	1.2686	0.0030	1.0681
TUB35	HIDRA19	HIDRA20	45.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.5183	0.0010	1.5350
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.2668	0.0040	0.6950
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	0.6313	0.0040	1.0574
TUB38	TEE16	HIDRA21	41.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	1.6533	0.0020	1.2464
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.2188	0.0020	0.5540
TUB45	HIDRA21	TEE19	46.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.6179	0.0010	1.5350
TUB46	TEE19	HIDRA22	25.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.5107	0.0010	1.5354
TUB42	TEE17	HIDRA24	58.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.8240	0.0010	1.5351
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.0142	0.0010	0.2770
TUB47	TEE18	HIDRA23	20.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.0083	0.0010	1.5351
TUB34	HIDRA18	HIDRA19	103.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	3.7358	0.0020	1.1929

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS NODOS EN FUNCION A LA
PROGRAMACION DE RIEGO - PACURI TURNO 03**

N.º DE TURNO	3
POSICIONES DE RIEGO	2 posiciones
T.º DE RIEGO	5 horas
PERIODO DE RIEGO	8 días

Nodo	Alt. Piez.	Presión	Consumo	Cota	P.Consigna	P.Margen
	(mca)	(mca)	(m3/s)	(m)	(mca)	(mca)
RESEV1	3,612.00	0.00	-0.008	3,612.00	0.00	0.00
HIDRA17	3,610.95	12.95	0.001	3,598.00	30.00	-17.05
HIDRA18	3,557.73	22.73	0.001	3,535.00	30.00	-7.27
HIDRA19	3,554.00	49.00	0.001	3,505.00	30.00	19.00
HIDRA20	3,549.48	49.48	0.001	3,500.00	30.00	19.48
HIDRA21	3,556.45	48.45	0.001	3,508.00	30.00	18.45
HIDRA22	3,549.32	62.32	0.001	3,487.00	30.00	32.32
HIDRA24	3,552.06	52.06	0.001	3,500.00	30.00	22.06
HIDRA23	3,555.86	72.86	0.001	3,483.00	30.00	42.86

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS ELEMENTOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO -
PACURI TURNO 04**

N.º DE TURNOS	4
POSICIONES DE RIEGO	2 posiciones
HORAS DE RIEGO	6 horas
FRECUENCIA DE RIEGO	6 dias

Elemento	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro Nominal (mm)	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3902
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4688	0.0080	1.3902
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.5938	0.0080	1.3902
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.8635	0.0080	2.1149
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.7969	0.0080	1.3902
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6094	0.0080	1.3902
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9609	0.0080	1.3902
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2778	0.0080	2.1149
TUB38	TEE16	HIDRA21	41.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	0.4587	0.0010	0.6234
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	2.2207	0.0070	1.9389
TUB48	TEE24	HIDRA25	87.00	0.060	63	C-5	140.00000	4.8972	0.0050	1.7802
TUB49	HIDRA25	TEE25	93.00	0.058	63	C-7,5	140.00000	3.8872	0.0040	1.4933
TUB50	TEE25	HIDRA28	28.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	1.0154	0.0020	1.1930
TUB51	HIDRA28	HIDRA29	51.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.1211	0.0010	1.5351
TUB52	TEE25	HIDRA26	37.00	0.046	1 1/2	C-7,5	140.00000	1.3418	0.0020	1.1930
TUB53	HIDRA26	HIDRA27	53.00	0.029	1	C-10	140.00000	5.3220	0.0010	1.5351
TUB54	TEE24	HIDRA32	61.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1099	0.0020	0.3475
TUB55	HIDRA32	HIDRA31	46.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0232	0.0010	0.1738
TUB45	HIDRA21	TEE19	46.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.6211	0.0010	1.5356
TUB46	TEE19	HIDRA22	25.00	0.029	1	C-10	140.00000	2.5107	0.0010	1.5352
TUB143	TEE21	TEE24	54.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9885	0.0070	1.2164
TUB42	TEE17	HIDRA24	58.00	0.029	1	C-10	140.00000	0.0000	0.0000	0.0000
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.5122	0.0070	1.9389
TUB44	TEE18	TEE20	22.00	0.068	75	C-10	140.00000	1.2527	0.0070	1.9389
TUB118	HIDRA22	HIDRA30	41.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.1169	0.0010	1.5351

**COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS NODOS EN FUNCION A LA
PROGRAMACION DE RIEGO -PACURI TURNO 04**

N.º DE TURNOS	4
POSICIONES DE RIEGO	2 posiciones
HORAS DE RIEGO	5 horas
FRECUENCIA DE RIEGO	8 dias

Nodo	Alt. Piez. (mca)	Presión (mca)	Consumo (m3/s)	Cota (m)	P.Consigna (mca)	P.Margen (mca)
RESEV1	3,612.00	0.00	-0.008	3,612.00	0.00	0.00
HIDRA25	3,484.21	21.21	0.001	3,463.00	30.00	-8.79
HIDRA26	3,478.99	30.99	0.001	3,448.00	30.00	0.99
HIDRA27	3,473.66	32.66	0.001	3,441.00	30.00	2.66
HIDRA28	3,479.31	35.31	0.001	3,444.00	30.00	5.31
HIDRA29	3,474.19	40.19	0.001	3,434.00	30.00	10.19
HIDRA32	3,489.00	24.00	0.001	3,465.00	30.00	-6.00
HIDRA31	3,488.98	25.98	0.001	3,463.00	30.00	-4.02
HIDRA30	3,543.75	60.75	0.001	3,483.00	30.00	30.75

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS ELEMENTOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO - PACURI TURNO 05

	5
	2 posiciones
	6 horas
	6 días

Elemento	N. Inic	N. Fin	Long. (m)	Diám. (m)	Diametro	CLASE	Rugos.	P. Carga (mca)	Caudal (m3/s)	Velocidad (m/s)
					Nominal (mm)					
TUB1	RESEV1	TEE1	4.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.0938	0.0080	1.3901
TUB2	TEE1	TEE2	7.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.1641	0.0080	1.3901
TUB14	TEE2	TEE6	20.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.4690	0.0080	1.3901
TUB16	TEE6	TEE22	68.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.5940	0.0080	1.3901
TUB17	TEE22	TEE7	44.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.8647	0.0080	2.1148
TUB18	TEE8	TEE9	34.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.7971	0.0080	1.3901
TUB32	TEE9	TEE15	26.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.6094	0.0080	1.3901
TUB36	TEE15	TEE23	41.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.9612	0.0080	1.3901
TUB37	TEE23	TEE16	35.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.2788	0.0080	2.1148
TUB39	TEE16	TEE17	39.00	0.068	75	C-10	140.00000	2.8447	0.0080	2.2158
TUB54	TEE24	HIDRA32	61.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.4299	0.0080	1.3901
TUB55	HIDRA32	HIDRA31	46.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.0784	0.0080	1.3901
TUB56	HIDRA31	TEE26	17.00	0.086	90	C-5	140.00000	0.3984	0.0080	1.3901
TUB57	TEE26	HIDRA33	44.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.4182	0.0010	1.5351
TUB58	TEE26	TEE27	33.00	0.083	90	C-7,5	140.00000	0.6858	0.0070	1.2814
TUB59	TEE27	HIDRA40	44.00	0.029	1	C-10	140.00000	4.4180	0.0010	1.5350
TUB60	TEE27	HIDRA34	63.00	0.069	75	C-7,5	140.00000	2.4082	0.0060	1.5861
TUB61	HIDRA34	HIDRA35	73.00	0.029	1	C-10	140.00000	7.3301	0.0010	1.5351
TUB63	TEE29	HIDRA38	40.00	0.029	1	C-10	140.00000	14.4973	0.0020	3.0699
TUB64	TEE29	HIDRA36	37.00	0.045	1 1/2	C-10	140.00000	1.4929	0.0020	1.2464
TUB65	HIDRA36	HIDRA37	75.00	0.029	1	C-10	140.00000	7.5308	0.0010	1.5350
TUB66	HIDRA38	HIDRA39	37.00	0.029	1	C-10	140.00000	3.7153	0.0010	1.5351
TUB62	HIDRA34	TEE28	15.00	0.058	63	C-7,5	140.00000	0.6272	0.0040	1.4933
TUB67	TEE28	TEE29	49.00	0.057	63	C-10	140.00000	2.3057	0.0040	1.5675
TUB143	TEE21	TEE24	54.00	0.086	90	C-5	140.00000	1.2659	0.0080	1.3901
TUB43	TEE17	TEE18	9.00	0.068	75	C-10	140.00000	0.6565	0.0080	2.2158
TUB44	TEE18	TEE20	22.00	0.068	75	C-10	140.00000	1.6047	0.0080	2.2158

COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS NODOS EN FUNCION A LA PROGRAMACION DE RIEGO -PACURI TURNO 05

	5
	2 posiciones
	5 horas
	8 días

Nodo	Alt. Piez. (mca)	Presión (mca)	Consumo (m3/s)	Cota (m)	Consigna (mca)	P.Margen (mca)
HIDRA33	3,481.51	26.51	0.001	3,455.0000	30.00	-3.49
HIDRA34	3,482.83	39.83	0.001	3,443.0000	30.00	9.83
HIDRA35	3,475.50	41.50	0.001	3,434.0000	30.00	11.50
HIDRA36	3,478.41	44.41	0.001	3,434.0000	30.00	14.41
HIDRA37	3,470.88	44.88	0.001	3,426.0000	30.00	14.88
HIDRA38	3,465.40	33.40	0.001	3,432.0000	30.00	3.40
HIDRA39	3,461.69	39.69	0.001	3,422.0000	30.00	9.69
HIDRA40	3,480.82	33.82	0.001	3,447.0000	30.00	3.82



Anexo E: Diseño de lateral de riego y aspersores

**INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA
COMUNIDAD DE PACURI
CARACTERISTICAS DEL LATERAL DE RIEGO**

SOLAPE

95%

Marca	SILVER BR 3/4"
Modelo	
Diám.Mojado(m)	28
Presión Trabajo(mca)	25
Diám.Boq.(mm)	5
Q. Asp.(lt/hr)	1600
Radio Mojado (m)	14
Solape = 2- Solape/100	1.05
Marco de Riego (m)	14.70
Marco de Riego (m) Ajustado	15 ml
Distanciamiento entre laterales	15 ml

LINEA DE RIEGO MOVIL

Longitud entre el hidrante y el primer Aspersor	20 ml
Numero de Aspersores por linea de Riego Movil	2
Longitud de manguera por linea de Riego Movil	34 ml
Union de PVC de 3/4" C/R	2 und
Niple de PVC Ø 3/4" C-10 x 1.3 m	2 und
Tee de derivacion HDPE 32 mm x 3/4"	1 und
Codo HDPE 32 mm x 3/4"	1 und
Tripode Flexible Metal P/ aspersor 3/4 "	2 und
Llave Bayoneta de 1"	1 und
Codo HDPE 32 mm x 1"	1 und
Manguera de PE de 32 mm C-4	34 ml
Aspersor SILVER Bronce Sectorial de 3/4"	2 und
LATERALES DE RIEGO EN EL SISTEMA	
Numero de hidrantes en el Sistema	40.00
Longitud Total de Manguera	1,360 ml
Union de PVC de 3/4" C/R	80 und
Niple de PVC Ø 3/4" C-10 x 1.3 m	80 und
Tee de derivacion HDPE 32 mm x 3/4"	40 und
Codo HDPE 32 mm x 3/4"	40 und
Tripode Flexible Metal P/ aspersor 3/4 "	80 und
Llave Bayoneta de 1"	40 und
Codo HDPE 32 mm x 1"	40 und
Aspersor SILVER Bronce Sectorial de 3/4"	80 und

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI DISEÑO DE LATERALES DE RIEGO Y ASPERSORES

1 DISEÑO AGRICOLA PARA RIEGO POR ASPERSION

1.1 Calculo del Marco de Riego por Aspersión

1.1.1 Características hidráulicas del Aspersor

Modelo	SILVER SECTORIAL DE BRONCE DE 3/4"	
Diametro Mojado en metros	28.00 metros	
Diametro de Boquillas	5.00 mm	
Caudal del Aspersor	1,600.00 L/H	
Porcentaje de Solapamiento	95.00%	
Radio Mojado	14.00 metros	
Solape = 2- solapamiento/100	1.05	
Marco de Riego	14.7	
Separacion entre Aspersores (Sasp)	14	
Separacion entre laterales (Slat)	16	

1.1.2. Calculo de la Pluviometria del Aspersor (velocidad de Aplicación)

Area de Riego por el Aspersor (Arasp) = Sasp* Slat	224.00 m ²
Velocidad de Aplicación del Aspersor = Caudal Asp/ Ar asp	7.14 mm/hora

1.2 Calculo de la Humedad Disponible en el suelo a regar

Datos del Analisis de Suelo Agrícola	
Textura	Arcillo arenoso
Velocidad de Infiltracion	8.8
Densidad Aparente	1.36
Capacidad de campo	10.5
Punto de Marchitez	2.8
Datos del Cultivo	
Prof. De Raices	0.6
Umbral de Riego	50.0
Altura de deficit de Agua (hd) = (CC-PM)*Da*Pr* UR)/100	3.15cm

1.3 Frecuencia de Riego Minima

$$FRm = hd/Etmax$$

FRm : Frecuencia de Riego Minima (Dias)	
hd : Humedad Disponible	3.15 cm
Etmax . Máxima Evapotranspiracion (cm)	3.2 mm/dia

FRm	10 dias
-----	---------

1.4 Tiempo de Riego

$TR = hd/(ef \cdot va)$	5.89 horas
-------------------------	------------

Donde :	
hd : Altura de deficit	3.15 cm
ef : Eficiencia de Riego	75.00
Va : Velocidad de Aplicación	7.14mm/hr

1.5 Verificacion de la intensidad SE ACEPTA EL DISEÑO PARA ASPERSOR BR SILVER 3/4

1.6 Numero de aspersores por lateral de riego para aspersores Silver sectorial se 3/4 "

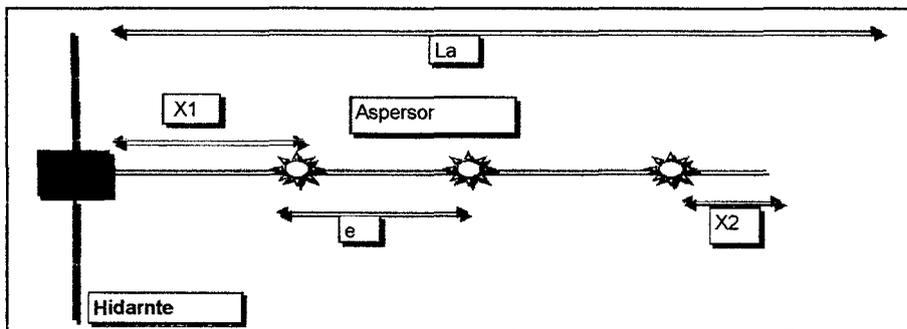
- a).- El número de aspersores depende de la longitud del lateral de riego
- b).- de la Presion disponible en el hidrante, tal que sea suficiente para que funcionen todos los aspersores y del Caudal disponible de la fuente

1.7 Eleccion del Aspersor

El aspersor es seleccionado de acuerdo al caudal "q" que debe arrojar y de los posibles modelos que se adecuan a ello, adopta aquel que se encuentre en la zona media de funcionamiento en cuanto a su presion media de funcionamiento, ya que el mismo puede empeorar conforme las codisiones se aproximan a los valores extremos de cada ,modelo, haciendo que los tamaños y distribucion espacial de las gotas no resulten los adecuados

Según el " q " calculado se debe interpolar los valores de presion y radio mojado

Nota : los Hidrantes tienen una salida



$La = 2 \times X + (N^{\circ} \text{ asp} - 1) \times e$
 Separacion entre aspersores
 $N^{\circ} \text{asp} = \text{Número de aspersores}$
 $X = x1 + x2$
 Datos
 X1
 X2
 X = Distancia del Aspersor al limite de la parcela
 La = ancho de la parcela

14
2
10
10
14
40

Por ramal el Número de Aspersores $N^{\circ} = \frac{(La - 2 \times X) + 1}{e}$ 1.86 aspersores

1.8 Caudal de cada parcela

Modulo de Riego
 Area de la parcela (has)
 $Q_{parcela} = \text{Area parcela} * \text{Caudal Fictico Continuo}(\text{Modulode riego})$

0.90	0.72 l/seg
0.08	

1.9 Ajuste del Numero de Aspersores

$N^{\circ} \text{ de Aspersores} = Q_{parcela} / Q_{del\ aspersor}(tabla)$

1,600 lt/hora

Q aspersor (tabla)

1.62 aspersores

$N^{\circ} \text{ de Aspersores} = Q_{parcela} / Q_{del\ aspersor}(tabla)$

2

Nº de Aspersores elegido

1.10. Caudal del Hidrante

Caudal que debe ingresar a la línea de riego movil o lateral de riego para satisfacer los caudales de los aspersores

0.89

$Q_{hidrante} = Q_{Aspersor} \times N^{\circ} \text{ de Aspersores}$

Hidrante Nº
(ver Plano)

1	1 lt/seg
	0.00089



Anexo F: Cálculos de demanda de agua

Cédula De Cultivo

Ingrese para cada mes Kc y modalidad de cultivo (base "B", de rotación "R") correspondientes.

CULTIVOS BASE	ÁREA		Modalidad de Cultivo												CULTIVOS DE ROTACIÓN	ÁREA Há
	Há	%	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
1 Maiz Amilaceo	7.80	25.08%	B	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	Arveja	7.80
2 Cebada	4.60	14.79%	B	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	Haba	4.60
3 Papa	5.60	18.01%	B	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	Trigo	5.60
4 Trigo	3.20	10.29%	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	B	Cebada	3.20
5 Haba	2.60	8.36%	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	B	Maiz	2.60
6 Arveja	2.50	8.04%	B	B	B	R	R	R	R	R	R	B	B	B	Papa	2.50
7 Alfalfa	4.80	15.43%	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B		4.80
8																
9																
10																
11																
12																
Cultivado (há)	31.10	100.00%	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1		31.10

CULTIVOS BASE	Kc de los Cultivos												CULTIVOS DE ROTACIÓN
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1 Maiz Amilaceo	1.18	1.17	1.09	0.90	0.53	0.67	1.07	1.01	0.95	0.80	0.51	0.80	Arveja
2 Cebada	0.70	1.15	1.10	0.90	0.50	0.65	1.05	1.02	0.90	0.85	0.50	0.55	Haba
3 Papa	1.01	1.21	1.14	0.82	0.49	0.81	1.20	1.05	0.54	0.50	0.47	0.59	Trigo
4 Trigo	1.05	0.54	0.50	0.50	0.55	0.70	1.15	1.01	0.90	0.49	0.81	1.20	Cebada
5 Haba	1.08	0.90	0.85	0.51	0.80	1.18	1.17	1.05	0.90	0.50	0.85	1.05	Maiz
6 Arveja	1.07	0.95	0.90	0.47	0.59	1.01	1.21	1.10	0.82	0.53	0.67	1.05	Papa
7 Alfalfa	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
8													
9													
10													
11													
12													
Kc ponderado	1.01	1.04	0.98	0.78	0.61	0.81	1.10	1.02	0.85	0.70	0.62	0.83	

DEMANDA DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Método de Hargreaves

Proyecto: **INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI**

Ubicación

Departamento: Ayacucho
 Provincia: Huamanga
 Distrito: Socos
 Localidad: Pacuri

→

Latitud: 13° 14' 1.0" 13.23
 Altitud: 3,400.00 msnm
 Eficiencia de Riego: 75%

Información Referencial

Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Precipitación Promedio Mensual</i>	mm	117.58	111.65	121.09	41.70	12.35	5.35	10.55	16.11	24.91	44.16	61.21	96.40
<i>Precipitación Total Mensual al 90%</i>	mm	41.90	74.35	84.30	20.50	4.30	-	-	-	7.26	21.05	26.18	64.98
<i>Precipitación Total Mensual al 75%</i>	mm	96.64	85.30	100.82	23.68	6.28	1.30	0.35	4.35	9.69	32.30	44.20	75.80

Información Requerida

Atención: Ingrese datos, solo para el método a utilizar:

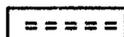
Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Temperatura Media Mensual</i>	°C	10.50	10.31	10.02	10.27	10.11	8.68	8.84	9.56	10.25	10.86	10.94	10.48
<i>Precipitación Efectiva Mensual al 75%</i>	mm	77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	-	-	-	4.45	25.82	36.53	63.31
(HS) Para calcular en función a Porcentajes de Horas de Sol Posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura													
<i>Horas de Sol, Total Mensual</i>	H	143.70	123.51	136.87	181.28	247.83	231.09	250.31	237.15	193.44	199.52	195.71	154.55
<i>Horas de Sol, Promedio Diario Mensual</i>	H	4.64	4.41	4.42	6.04	7.99	7.70	8.07	7.65	6.45	6.44	6.52	4.99
(HR) Para el calcular en función a Humedad Relativa y Temperatura													
<i>Humedad Relativa</i>	%	73.57	76.43	75.86	72.01	61.56	57.23	54.71	57.57	57.71	58.57	61.96	65.53

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI

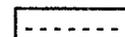
CÉDULA DE CULTIVO

CULTIVOS BASE	ÁREA	MESES												CULTIVOS DE ROTACIÓN	ÁREA Há		
	Há	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D				
Maiz Amilaceo	7.80	=====	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	Arveja	7.80
Cebada	4.60	=====	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	Haba	4.60
Papa	5.60	=====	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	Trigo	5.60
Trigo	3.20	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	=====	=====	Cebada	3.20
Haba	2.60	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	=====	=====	=====	Maiz	2.60
Arveja	2.50	=====	=====	=====	-----	-----	-----	-----	-----	=====	=====	=====	=====	=====	=====	Papa	2.50
Alfalfa	4.80	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====		4.80
TOTAL	31.10	31.1			31.10												

CULTIVO BASE



CULTIVO ROTACIÓN



INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

* Método de Hargreaves, en función a Porcentajes de Horas de Sol Posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura

Latitud: S 13.23°

Longitud: 74° 16'

Altitud: 3,400.00 msnm

PARÁMETRO DE CÁLCULO	UNIDAD	MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Media Mensual	°C	10.5	10.3	10.0	10.3	10.1	8.7	8.8	9.6	10.3	10.9	10.9	10.5
TF - Temperatura Media Mensual	°F	50.90	50.56	50.03	50.49	50.20	47.63	47.91	49.22	50.45	51.54	51.70	50.86
RMM - Radiación E Terrestre, equivalente de evaporación	mm	516.5	458.1	475.5	414.4	379.9	340.6	364.4	403.5	437.3	489.8	493.9	513.4
S - Porcentaje de Horas de Sol	%	36.23	35.21	36.29	51.21	69.69	68.13	70.79	65.55	53.73	51.78	51.25	38.67
RSM - Radiación Equivalente Mensual	mm	233.2	203.9	214.8	222.4	237.8	210.9	229.9	245.0	240.4	264.3	265.2	239.4
CE - Factor de Corrección por Altitud		1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068
ETo - Evapotranspiración Potencial	mm	95.1	82.6	86.1	90.0	95.6	80.4	88.2	96.6	97.2	109.1	109.8	97.5

Radiación Extraterrestre, equivalente de evap. mensual

$$RMM = RMD * \text{Días del mes}$$

Porcentaje de Horas de Sol

$$S = 100 * (n / N)$$

Radiación Extraterrestre, equivalente de evap. Diaria

$$RDM \Rightarrow \text{Tabla N° 03}$$

Radiación Equivalente Mensual

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{0.5}$$

Horas de sol máxima media diaria, según latitud

$$N \Rightarrow \text{Tabla N° 02}$$

n => Dato

Horas Diarias de Sol promedio mensual

Temperatura media mensual

°C

Temperatura °F

$$TF = 1.8 * °C + 32$$

Altitud (msnm)

E

Factor de Corrección Altitud

$$CE = 1.0 + 0.04 (E/2000)$$

Evapotranspiración Potencial

$$ETo = 0.0075 * RSM * TF * CE$$

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI
DEMANDA DE AGUA CON PRECIPITACIÓN EFECTIVA AL 75%
(En miles m³)

* Método de Hargreaves, en función a Porcentajes de Horas de Sol Posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Evapotranspiración Potencial		95.06	82.57	86.10	89.95	95.62	80.44	88.23	96.58	97.16	109.13	109.80	97.54	mm	
Precipitación Efectiva Mensual al 75%		77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	-	-	-	4.45	25.82	36.53	63.31	mm	
Área Cultivada		31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	há	
CULTIVOS DE BASE	Maiz Amiláceo	3.60	2.75	1.41	6.57	5.14	5.61	9.82	10.14	9.14	6.39	2.02	1.53	Arveja	CULTIVOS DE ROTACIÓN
	Cebada	-	1.52	0.89	3.88	2.86	3.21	5.68	6.04	5.09	4.11	1.13	-	Haba	
	Papa	1.38	2.22	1.33	4.18	3.41	4.87	7.91	7.57	3.58	2.15	1.13	-	Trigo	
	Trigo	0.95	-	-	1.16	2.19	2.40	4.33	4.16	3.54	1.18	2.24	2.29	Cebada	
	Haba	0.87	0.14	-	0.98	2.61	3.29	3.58	3.52	2.88	1.00	1.21	1.36	Maiz	
	Arveja	0.81	0.27	-	0.82	1.84	2.71	3.56	3.54	2.51	1.07	1.23	1.30	Papa	
	Alfalfa	0.82	0.53	0.10	4.33	5.74	4.89	5.36	5.87	5.62	4.98	4.34	1.88		
DMA - TOTAL		8.42	7.43	3.73	21.92	23.79	26.97	40.24	40.85	32.36	20.87	13.29	8.36	1,000 m ³	
Q 24 hrs		0.003	0.003	0.001	0.008	0.009	0.010	0.015	0.015	0.012	0.008	0.005	0.003	m ³ /seg	
Mr - Módulo de Riego		0.101	0.099	0.045	0.272	0.286	0.335	0.483	0.490	0.401	0.251	0.165	0.100	l/seg/há	
Caudal de Diseño								0.0153						m ³ /seg	
								15.25						l/seg	

Demanda de Agua
 Donde:

DMA (1000 m³)

Área de cultivo: **A** (há)
 Evapotranspiración Potencial: **ET_o** (mm)
 Coeficiente de Cultivo: **K_c**
 Precip. Mensual Efectiva al 75%: **PE** (mm)
 Eficiencia de riego: **Er** (%)
 Módulo de riego: **Mr** (l/s/há)

$$DMA_i = \frac{A_i (ET_{o_m} K_{c_i} - PE_m)}{100 Er}$$

$$Mr = \frac{Q}{A_m}$$

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

* Método de Hargreaves, en función a Humedad Relativa y Temperatura

Latitud: S 13.23°

Altitud: 3,400.00 msnm

PARÁMETRO DE CÁLCULO	UNIDAD	MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Media Mensual	°C	10.5	10.3	10.0	10.3	10.1	8.7	8.8	9.6	10.3	10.9	10.9	10.5
TF - Temperatura Media Mensual	°F	50.9	50.6	50.0	50.5	50.2	47.6	47.9	49.2	50.5	51.5	51.7	50.9
HR - Humedad Relativa	%	73.6	76.4	75.9	72.0	61.6	57.2	54.7	57.6	57.7	58.6	62.0	65.5
CH - Factor de Corrección Humedad		0.853	0.806	0.816	0.878	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.975
CE - Factor de Corrección Altitud		1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068	1.068
MF: Factor Mensual de Evapotranspiración		2.659	2.308	2.344	1.976	1.759	1.564	1.676	1.916	2.154	2.485	2.548	2.682
ET_o - Evapotranspiración Potencial	mm	123.3	100.4	102.2	93.6	94.3	79.5	85.7	100.7	116.1	136.8	140.7	142.0

Altitud (msnm)

Factor de Corrección por Altitud

Temperatura Media Mensual

Temperatura °F

Factor de Corrección Humedad

Factor Mensual de Evapotranspiración

Evapotranspiración Potencial

E

CE = 1.0 + 0.04 (E/2000)

°C

TF = 1.8 * °C + 32

CH = 0.166 * (100 - HR)^{0.6}; Si, HR < 64% → CH = 1.0

MF => Tabla N° 1

ET_o = TF * CH * MF * CE

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI
DEMANDA DE AGUA CON PRECIPITACIÓN EFECTIVA AL 75%
(En miles m³)

* Método de Hargreaves, en función a Humedad Relativa y Temperatura

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Evapotranspiración Potencial		123.32	100.44	102.16	93.56	94.30	79.53	85.73	100.69	116.06	136.81	140.70	141.99	mm	
Precipitación Efectiva Mensual al 75%		77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	-	-	-	4.45	25.82	36.53	63.31	mm	
Área Cultivada		31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	há	
CULTIVOS DE BASE	Maiz Amilaceo	7.07	4.92	3.23	6.91	5.07	5.54	9.54	10.58	11.00	8.70	3.66	5.23	Arveja	CULTIVOS DE ROTACIÓN
	Cebada	0.54	2.78	1.97	4.08	2.82	3.17	5.52	6.30	6.13	5.55	2.07	0.91	Haba	
	Papa	3.51	3.83	2.70	4.40	3.36	4.81	7.68	7.89	4.35	3.18	2.21	1.53	Trigo	
	Trigo	2.22	-	-	1.24	2.16	2.38	4.21	4.34	4.27	1.76	3.30	4.57	Cebada	
	Haba	1.93	0.70	0.23	1.04	2.57	3.25	3.48	3.67	3.47	1.48	1.90	2.97	Maiz	
	Arveja	1.81	0.84	0.39	0.87	1.81	2.68	3.46	3.69	3.02	1.56	1.92	2.86	Papa	
	Alfalfa	2.53	1.61	1.07	4.55	5.66	4.84	5.21	6.12	6.77	6.67	6.22	4.58		
DMA - TOTAL		19.60	14.69	9.59	23.10	23.45	26.67	39.10	42.59	39.01	28.88	21.30	22.65	1,000 m ³	
Q 24 hrs		0.007	0.006	0.004	0.009	0.009	0.010	0.015	0.016	0.015	0.011	0.008	0.008	m ³ /seg	
Mr - Módulo de Riego		0.235	0.195	0.115	0.287	0.282	0.331	0.469	0.511	0.484	0.347	0.264	0.272	l/seg/há	
Caudal de Diseño									0.016					m ³ /seg	
									15.90					l/seg	

Demanda de Agua

DMA (1000 m³)

Donde:

Área de cultivo: A (há)

Evapotranspiración Potencial: ETo (mm)

Coefficiente de Cultivo: Kc

Precipitación Efectiva al 75%: PE (mm)

Eficiencia de riego: Er (%)

Módulo de riego: Mr (l/s/há)

$$DMA_1 = \frac{A_1 (ETo_m Kc_1 - PE_m)}{100 Er}$$

$$Mr = \frac{Q}{A_m}$$

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI
CALCULO DE LA DEMANDA HIDRICA DEL PROYECTO

CÁLCULOS		M E S E S											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Nº de días/mes	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Eto	mm/día	3.98	3.59	3.30	3.12	3.04	2.65	2.77	3.25	3.87	4.41	4.69	4.58
Eto (*)	mm/mes	123.32	100.44	102.16	93.56	94.30	79.53	85.73	100.69	116.06	136.81	140.70	141.99
Kc Ponderado	1.01	1.04	0.98	0.78	0.61	0.81	1.10	1.02	0.85	0.70	0.62	0.83
U.C.	mm	124.84	103.98	100.40	73.44	57.77	64.31	94.29	102.71	98.54	95.47	87.89	117.93
Pp. Registrada al 75%	mm/mes	96.64	85.30	100.82	23.68	6.28	1.30	0.35	4.35	9.69	32.30	44.20	75.80
P. efectiva al 75%(**)	mm/mes	77.57	70.20	80.28	17.75	1.21	0.00	0.00	0.00	4.45	25.82	36.53	63.31
Requerimiento	mm	47.28	33.78	20.12	55.70	56.56	64.31	94.29	102.71	94.08	69.65	51.36	54.62
Req. Vol. Bruto	m3/ha	472.77	337.80	201.20	556.96	565.61	643.05	942.88	1027.07	940.82	696.50	513.58	546.23
Ef. De Riego (***)	-----	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Req Vol Neto.	mm	630.36	450.41	268.27	742.61	754.15	857.40	1257.17	1369.43	1254.43	928.67	684.77	728.31
Nº de Horas de riego	hrs	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Area total de riego	has	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10	31.10
Módulo de Riego	lt/seg/ha	0.235	0.186	0.100	0.287	0.282	0.331	0.469	0.511	0.484	0.347	0.264	0.272
Q. demanda	lt/seg	7.32	5.79	3.12	8.91	8.76	10.29	14.60	15.90	15.05	10.78	8.22	8.46
Oferta fuente (****)	(l/s)	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
Oferta fte y reserv.	(l/s)	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90

* El Eto fue calculado por el método de Hargraves

** La Precipitación Efectiva fue calculado con los valores del cuadro adjunto (Método U.S.A)

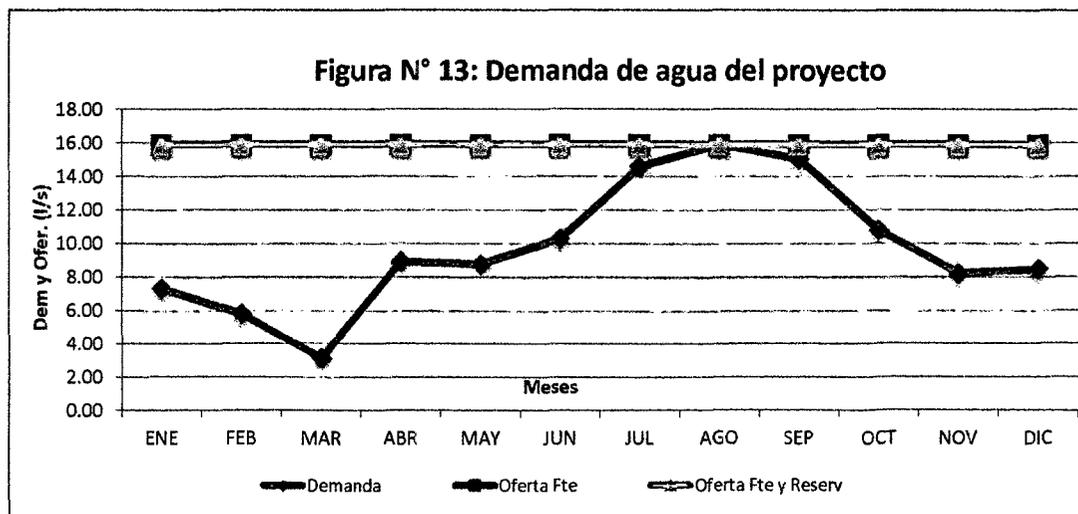
***Eficiencia de Riego 0.75

****La diferencia de Caudal ofertado y Caudal demandado se considera como: CAUDAL ECOLÓGICO

DISTRIBUCIÓN DE Pp EFECTIVA
(Método U.S.A.)

VAR. PRECIPITACIÓN	% PE
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
>155	5

Figura N° 13: Demanda de agua del proyecto





Anexo G: Precipitación efectiva

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE PACURI

PRECIPITACION EFECTIVA

Latitud: S 13.23°

Altitud: 3,400.00 msnm

	AÑO	MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	1993	-	113.8	140.9	85.0	18.4	8.0	12.6	16.5	39.0	64.0	94.3	156.4
	1994	177.6	135.6	117.8	39.6	15.2	2.0	-	3.3	30.3	50.1	56.3	87.0
	1995	143.0	108.5	159.3	30.0	9.7	2.5	12.2	5.4	26.0	33.4	85.0	42.1
	1996	118.3	183.8	166.6	65.2	3.9	1.3	5.3	10.7	22.2	38.0	19.4	86.6
	1997	147.2	124.8	72.6	41.0	6.5	1.3	-	42.7	39.6	42.7	78.8	125.2
	1998	130.7	76.6	89.4	19.3	4.9	12.9	-	-	6.1	33.1	51.3	86.2
	1999	182.2	126.8	101.6	78.5	16.4	6.0	10.2	-	41.5	21.2	56.7	84.1
	2000	135.5	157.0	103.7	12.8	8.8	14.8	38.6	16.9	9.9	51.0	19.5	69.7
	2001	186.9	92.5	127.1	31.2	32.2	4.7	15.9	16.3	9.5	21.0	88.7	61.8
	2002	95.6	93.8	100.0	23.1	24.1	4.2	28.2	19.1	60.6	71.3	111.8	74.6
	2003	27.5	160.8	163.7	50.7	15.1	-	0.7	32.3	16.4	15.6	36.2	102.9
	2004	56.3	65.7	80.9	22.3	10.5	8.4	26.2	20.8	27.4	33.7	54.0	162.6
	2005	133.1	74.9	119.1	42.5	13.5	-	6.1	16.7	33.3	106.9	37.1	125.9
	2006	139.0	109.7	164.8	60.0	-	14.1	-	40.9	9.0	48.9	71.5	77.0
	2007	111.5	73.8	108.8	24.3	6.1	-	2.2	-	2.9	31.5	57.6	103.9
	2008	97.0	88.2										
Precipitación Promedio	PP	117.6	111.6	121.1	41.7	12.4	5.3	10.6	16.1	24.9	44.2	61.2	96.4
Precipitación Máxima	PP max	186.9	183.8	166.6	85.0	32.2	14.8	38.6	42.7	60.6	106.9	111.8	162.6
Precipitación Mínima	PP Mín	-	65.7	72.6	12.8	-	-	-	-	2.9	15.6	19.4	42.1
Desviación Standard	DESV.	52.9	34.7	31.6	22.1	8.4	5.2	12.1	13.9	16.3	23.3	27.1	33.7
Precipitación al 50% de probabilidad	PP 50%	131.9	109.1	117.8	39.6	10.5	4.2	6.1	16.5	26.0	38.0	56.7	86.6
Precipitación al 90% de probabilidad	PP 90%	41.9	74.4	84.3	20.5	4.3	-	-	-	7.3	21.1	26.2	65.0
Precipitación al 75% de probabilidad	PP 75%	96.6	85.3	100.8	23.7	6.3	1.3	0.4	4.4	9.7	32.3	44.2	75.8
Precipitación Efectiva al 75%	PE 75%	77.6	70.2	80.3	17.7	1.2	-	-	-	4.5	25.8	36.5	63.3



Anexo H: Curvas Kc de cultivos evaluados

DETERMINACION DE LA CURVA Kc

Cálculo del Coeficiente de Cultivo (Kc)

(Método recomendado por la FAO)

1° DATOS GENERALES :

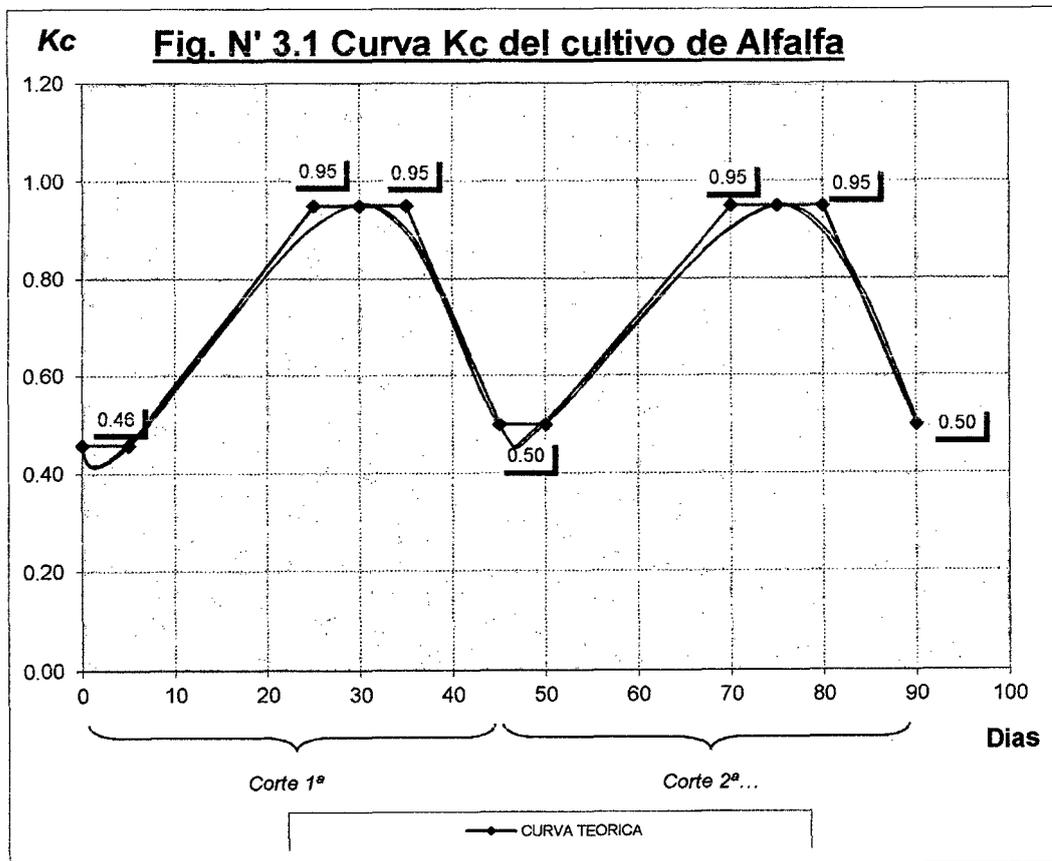
Cultivo	= <u>Alfalfa</u>	Lugar	= <u>Pacuri</u>
Periodo	= <u>1 AÑO (2015)</u>	Altitud	= <u>3,426 m.s.n.m.</u>
Fecha siembra	= <u>01 Nov. 2014</u>	Latitud	= <u>13° 12' S</u>
		Longitud	= <u>74° 16' W</u>

2° DURACION DE LAS FASES

		<i>Fecha</i>
Inicial	= 05 días	02/02 - 06/03
Desarrollo del cultivo	= 20 días	07/03- 24/04
Mediados del cultivo	= 10 días	25/04 - 10/07
Finales del cultivo	= 10 días	11/07 - 28/08
	45 días	

3° DURACION DE LAS FASES

Kc - fase inicial	= 0.46	(tabla 03,04,05)
ET _o	= 3.69 mm/día	(dato método Hargreaves) mes de agosto
Frecuencia de riego	= 07 días	(dato experimental)
K/c - mediad. desarrollo	= 0.95	(tabla 03,04,05)
Kc - final periodo	= 0.50	(tabla 03,04,05)



DETERMINACION DE LA CURVA Kc

Cálculo del Coeficiente de Cultivo (Kc)

(Método recomendado por la FAO)

1° DATOS GENERALES :

Cultivo	= <u>Arveja</u>	Lugar	= <u>Pacuri</u>
Periodo	= <u>1 AÑO (2015)</u>	Altitud	= <u>3,426 m.s.n.m.</u>
Fecha siembra	= <u>01 Set. 2015</u>	Latitud	= <u>13° 12' S</u>
		Longitud	= <u>74° 16' W</u>

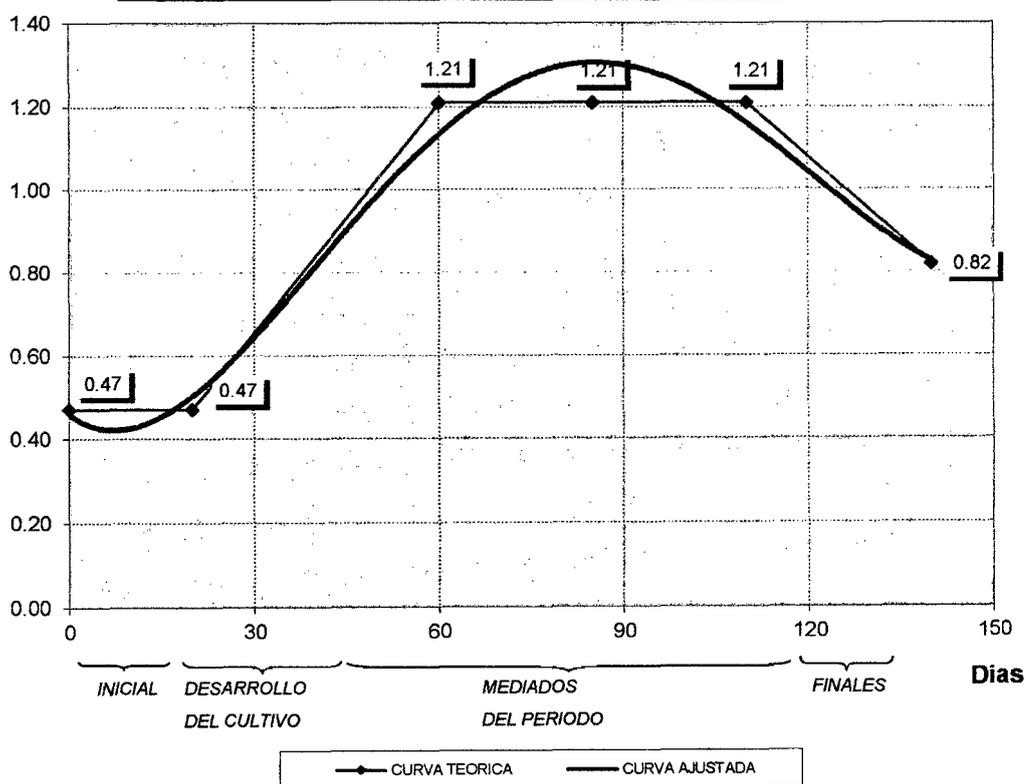
2° DURACION DE LAS FASES

		<i>Fecha</i>
Inicial	= 20 días	01/09/15 - 20/09/15
Desarrollo del cultivo	= 40 días	21/09/15 - 30/10/15
Mediados del cultivo	= 50 días	31/10/15 - 19/12/15
Finales del cultivo	= <u>30 días</u>	31/12/15 - 18/01/16
	140 días	

3° DURACION DE LAS FASES

Kc - fase inicial	= 0.40	(tabla-2.25)
ET _o	= 3.69 mm/día	(dato método Hargreaves) mes de agosto
Frecuencia de riego	= 07 días	(dato experimental)
K/c - mediad. desarrollo	= 1.21	(tabla-2.25)
Kc - final periodo	= 0.82	(tabla-2.25)

Kc Fig. N° 3.1 Curva Kc del cultivo de Arveja





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



Anexo I: Cámara de carga

DISEÑO DE CAMARA DE CARGA

1.-El cálculo del tirante de agua se calcula utilizando la Ecuación de Torricelli para Orificios a descarga libre que es la siguiente:

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

Despejando h :

$$2gh = \frac{Q^2}{(CA)^2}$$

$$h = \frac{Q}{2gC^2A^2} \quad (a)$$

$$A = \frac{\pi}{4}D^2 \quad (b)$$

(b) en (a) :

$$h = \frac{16Q^2}{2g\pi^2C^2D^4}$$

Operando :

$$h = 0.0826 \frac{Q^2}{C^2D^4}$$

Donde :

- h = Altura de carga sobre la tubería de conducción (m)
- C = Coeficiente de descarga con filtro 0.30, sin filtro 0.80
- Q = Caudal de descarga de tubería (m3/seg)
- D = Diámetro interior de la tubería de conducción (m)

Datos :

Q =	15.87	Lt/seg		0.0159	m3/seg
D =	90 mm		1000	0.090	
C =	0.80				

$$h = 0.0826 \frac{Q^2}{C^2D^4}$$

$$h = 0.495 \text{ m}$$

2.- Dimensionamiento de la Canastilla

$$D_{canastilla} = 2 * D_{salida}$$

$D_{canastilla} =$	180 mm	1000 mm	0.18 m
--------------------	--------	---------	--------

$$B = 0.09$$

* Se recomienda que la longitud de la canastilla (L) sea mayor 3Dc y menor a 6Dc

L =	27.00	cm
L =	54.00	cm

$$L_{asumido} = 70.00 \text{ cm}$$

Algunos criterios para determinar la Altura de la Cámara de Carga:

- A = Se considera una altura mínima de 10 cm que permita la sedimentación de la arena
- B = Se considera la mitad del diámetro de la canastilla de salida
- H = Altura de agua
- D = Desnivel mínimo entre el nivel de ingreso del agua y el nivel de agua de la camara de carga (mínimo 3 cm)
- E = Borde libre (de 10 a 30 cm)

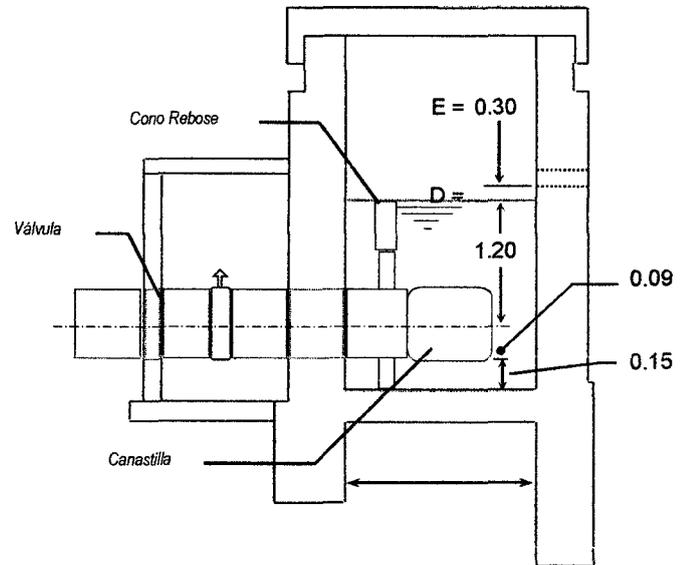
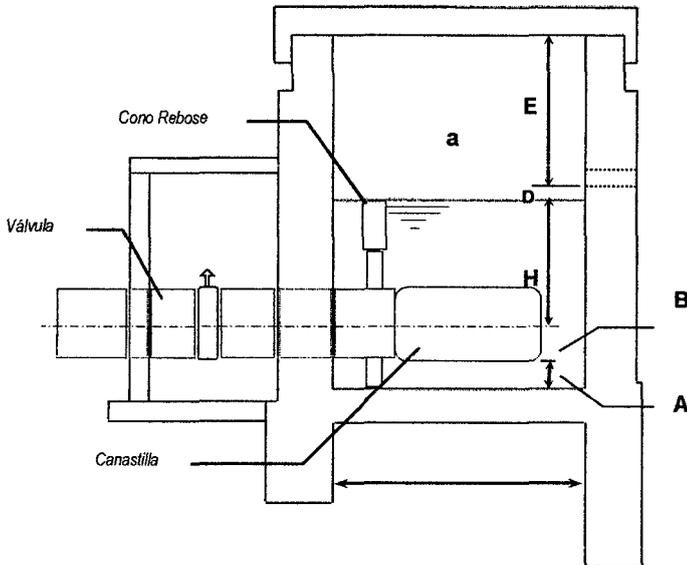
Por lo tanto consideramos:

A = 0.15
D = 0.05
E = 0.30

3.- Dimensionamiento de la Camara de Carga

* El dimensionamiento por razones constructivos debe redondearse a altura (h) y ancho (a); este último con criterio de mantenimiento

B = 1.2 m
L = 1.2 m
H = 1.2 m





UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



Anexo J: Programación de riego

CRONOGRAMA DE RIEGOPOR ASPERSION

PATRON DE APERTURA DE LOS HIDRANTES EN EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

FRECUENCIA DE RIEGO

TURNO	N° orden de Hidrantes	PRIMERA 01							Hora		HORA	
		L	M	M	J	V	S	D	1RA POSICION		2DA POSICION	
									INICIO	FIN	INICIO	FIN
									ALMACENAMIENTO AL RESERBORIO			
1°	HIDRA1, HIDRA3, HIDRA2, HIDRA5, HIDRA4, HIDRA6, HIDRA7, HIDRA8	■							06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
2°	HIDRA9, HIDRA10, HIDRA12, HIDRA13, HIDRA14, HIDRA15, HIDRA11, HIDRA16		■						06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
				■					06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
					■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
3°	HIDRA17, HIDRA18, HIDRA19, HIDRA20, HIDRA21, HIDRA22, HIDRA23, HIDRA24			■					06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
					■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
						■			06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
4°	HIDRA27, HIDRA25, HIDRA28, HIDRA29, HIDRA26, HIDRA30, HIDRA31, HIDRA32				■				06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
						■			06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
							■		06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
5°	HIDRA33, HIDRA34, HIDRA35, HIDRA36, HIDRA37, HIDRA38, HIDRA39, HIDRA40								06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
									06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.
								■	06:00 a.m.	12:00 p.m.	12:00 p.m.	06:00 p.m.

Fuente: Elaboracion propia



Anexo K: Datos climatológicos del área de estudio



REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1993		113.8	140.9	85.0	18.4	8.0	12.6	16.5	39.0	64.0	94.3	156.4	748.9
1994	177.6	135.6	117.8	39.6	15.2	2.0	0.0	3.3	30.3	50.1	56.3	87.0	714.8
1995	143.0	108.5	159.3	30.0	9.7	2.5	12.2	5.4	26.0	33.4	85.0	42.1	657.1
1996	118.3	183.8	166.6	65.2	3.9	1.3	5.3	10.7	22.2	38.0	19.4	86.6	721.3
1997	147.2	124.8	72.6	41.0	6.5	1.3	0.0	42.7	39.6	42.7	78.8	125.2	722.4
1998	130.7	76.6	89.4	19.3	4.9	12.9	0.0	0.0	6.1	33.1	51.3	86.2	510.5
1999	182.2	126.8	101.6	78.5	16.4	6.0	10.2	0.0	41.5	21.2	56.7	84.1	725.2
2000	135.5	157.0	103.7	12.8	8.8	14.8	38.6	16.9	9.9	51.0	19.5	69.7	638.2
2001	186.9	92.5	127.1	31.2	32.2	4.7	15.9	16.3	9.5	21.0	88.7	61.8	687.9
2002	95.6	93.8	100.0	23.1	24.1	4.2	28.2	19.1	60.6	71.3	111.8	74.6	706.4
2003	27.5	160.8	163.7	50.7	15.1	0.0	0.7	32.3	16.4	15.6	36.2	102.9	621.9
2004	56.3	65.7	80.9	22.3	10.5	8.4	26.2	20.8	27.4	33.7	54.0	162.6	568.8
2005	133.1	74.9	119.1	42.5	13.5	0.0	6.1	16.7	33.3	106.9	37.1	125.9	709.1
2006	139.0	109.7	164.8	60.0	0.0	14.1	0.0	40.9	9.0	48.9	71.5	77.0	734.9
2007	111.5	73.8	108.8	24.3	6.1	0.0	2.2	0.0	2.9	31.5	57.6	103.9	522.6
2008	97.0	88.2											

MEDIA	125.4	111.6	121.1	41.7	12.4	5.3	10.6	16.1	24.9	44.2	61.2	96.4	666.0
D.S	44.1	34.7	31.6	22.1	8.4	5.2	12.1	13.9	16.3	23.3	27.1	33.7	77.8
MAX.	186.9	183.8	166.6	85.0	32.2	14.8	38.6	42.7	60.6	106.9	111.8	162.6	748.9
MIN.	27.5	65.7	72.6	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	15.6	19.4	42.1	510.5



REGISTRO DE EVAPORACIONES DE TANQUE TOTAL MENSUAL (mm)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995					24.4	15.0	22.7	154.5	143.4	154.6	150.5	150.0
1996	101.9	187.1	172.9	120.5	114.2	114.0	143.9	137.1	153.9	165.9	190.2	150.5
1997	116.3	81.9	98.2	103.2	130.5	129.3	130.5	127.3	158.7	186.6	159.5	174.2
1998	103.3	95.5	68.9	107.9	139.4	115.6	133.8	141.3	146.5	125.1	139.8	110.8
1999	84.8	63.8	84.0	97.5	123.5	134.4	126.2	159.9	140.5	120.7	150.8	144.0
2000	102.7	91.1	78.2	93.9	100.3	105.3	104.9	121.6	112.0	111.3	184.9	139.2
2001	79.8	86.4	77.8	102.4	99.8	97.9	110.0	122.3	128.1	134.3	136.8	78.0
2002	129.5	73.1	84.8	90.1	88.5	98.1	88.5	119.3	122.5	205.0	126.8	150.0
2003	108.8	90.3	85.7	91.3	98.1	108.7	116.9	106.5	112.6	140.9	140.0	114.5
2004	127.6	103.8	122.6	87.9	102.4	86.1	86.4	96.2	105.4	102.0	133.2	107.3
2005	147.4	104.4	100.5	115.4	129.6	121.4	126.0	150.3	146.7	153.4	146.1	104.1
2006	110.1	110.7	100.9	76.6	102.7	103.5	120.7	106.4	120.3	151.4	103.8	128.0
2007	102.4	99.2	69.1	73.7	104.5	105.6	110.6	124.6	94.8	125.7	154.0	139.6
2008	95.5	71.6										

MEDIA	108.5	96.8	95.3	96.7	104.4	102.7	109.3	128.2	129.6	144.6	147.4	130.0
D.S	18.4	30.5	28.8	14.2	28.5	29.5	30.9	19.5	20.1	29.6	22.7	25.9
MAX.	147.4	187.1	172.9	120.5	139.4	134.4	143.9	159.9	158.7	205.0	190.2	174.2
MIN.	79.8	63.8	63.9	73.7	24.4	15.0	22.7	96.2	94.8	102.0	103.8	78.0



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

REGISTRO DE HORAS DE SOL PROMEDIOS MENSUALES

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1992	6.3	7.4	6.9	6.6	9.5	7.4	9.3	8.2	8.0	7.0	7.6	7.9
1993	4.1	5.5	5.6	5.3	7.8	9.1	8.4	8.0	6.5	6.7	4.2	4.0
1994	S/D	4.3	4.4	5.1	8.0	8.2	8.1	7.5	6.8	6.6	7.0	5.3
1995	6.3	4.2	4.2	6.3	8.2	7.3	8.2	8.3	5.3	7.3	6.3	5.3
1996	3.3	3.3	4.3	5.3	7.3	8.2	9.3	7.3	7.3	6.4	6.3	4.3
1997	3.3	4.2	4.3	6.4	6.3	6.3	7.3	5.3	4.3	5.3	5.3	5.3
1998	4.2	5.3	5.3	7.3	9.3	7.3	8.3	7.3	7.3	6.2	6.3	4.2
1999	4.3	3.3	3.3	4.3	6.2	8.3	6.3	8.3	7.3	6.2	6.3	4.2
2000	4.3	4.3	4.3	7.2	8.4	7.3	8.3	8.2	7.3	6.3	8.3	6.3
2001	3.2	4.3	5.3	7.3	7.3	7.2	8.2	8.3	6.3	7.3	7.3	4.3
2002	5.3	5.3	4.3	7.3	8.3	8.3	8.3	7.4	6.3	8.2	7.3	7.3
2003	5.3	2.3	3.3	5.3	7.3	8.2	7.3	8.3	6.2	6.4	6.3	5.3
2004	5.3	5.3	5.3	7.2	9.2	7.3	8.3	7.3	4.3	6.3	8.3	5.2
2005	7.2	0.3	1.2	6.3	8.4	8.3	8.3	8.3	7.3	5.3	7.3	3.3
2006	4.3	5.3	4.3	4.2	9.3	7.3	8.3	7.3	6.3	6.3	4.3	4.3
2007	4.3	5.3	4.3	5.3	7.3	7.3	7.2	7.3	S/D	5.3	6.2	3.2
2008	3.2	5.3										
MEDIA	4.6	4.4	4.4	6.0	8.0	7.7	8.1	7.7	6.4	6.4	6.5	5.0
D.S	1.6	1.6	1.2	1.1	1.0	0.7	0.7	0.8	1.9	0.8	1.2	1.3
MAX.	7.2	7.4	6.9	7.3	9.5	9.1	9.3	8.3	8.0	8.2	8.3	7.9
MIN.	3.2	0.3	1.2	4.2	6.2	6.3	6.3	5.3	4.3	5.3	4.2	3.2



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

REGISTRO DE VELOCIDADES DE VIENTO MENSUAL (m/s)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995								3.6	5.3	4.8	4.3	4.7
1996	4.4	3.3	2.8	2.2	1.3	2.3	1.7	1.8	1.9	2.6	2.9	2.6
1997	2.4	2.0	2.5	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1	1.6	1.6	1.9
1998	1.8	1.5	1.2	1.5	1.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.8	2.0	2.0
1999	1.6	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.7	1.9	1.7	1.9	2.2	2.0
2000	1.7	1.6	1.3	1.6	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.2	2.4	2.0
2001	1.7	1.7	1.8	2.1	1.9	2.0	1.9	1.7	2.1	2.2	1.5	1.0
2002	1.7	1.8	1.5	1.6	1.3	1.3	1.6	1.4	1.8	0.7	1.0	1.0
2003	1.3	1.4	1.4	1.6	1.6	1.9	1.8	1.3	1.6	1.7	1.4	1.3
2004	1.1	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	1.4	1.4	1.6	1.7	1.2
2005	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	2.1	1.0	1.6	1.7	1.5	1.3	1.1
2006	0.5	0.3	1.1	0.8	1.1	1.6	1.6	1.8	2.0	1.4	1.0	0.7
2007	0.8	0.9	1.1	1.6	1.4	1.2	1.0	0.4	0.3	0.7	0.9	1.2
2008	1.2	0.9										
MEDIA	1.7	1.5	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.8	2.0	1.9	1.9	1.7
D.S	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.7	1.1	1.0	0.9	1.0
MAX.	4.4	3.3	2.8	2.2	2.1	2.3	2.1	3.6	5.3	4.8	4.3	4.7
MIN.	0.5	0.3	1.1	0.8	1.1	1.0	0.9	0.4	0.3	0.7	0.9	0.7



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

REGISTRO DE TEMPERATURAS MAXIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.0	18.3	20.1	19.0	21.0	19.6	19.3
1996	17.5	17.3	17.3	17.4	18.5	18.0	17.6	18.3	19.7	20.5	20.8	19.1
1997	21.1	19.5	17.3	20.1	18.9	18.5	19.3	19.3	20.5	20.5	18.8	22.3
1998	18.8	19.7	19.2	20.6	21.0	18.9	19.2	19.7	20.9	20.7	20.8	19.1
1999	18.2	16.9	16.4	16.8	18.4	19.0	17.2	18.7	18.8	18.1	20.0	18.4
2000	16.8	16.3	16.2	17.6	18.6	17.9	16.8	18.2	S/D	19.9	S/D	S/D
2001	16.7	17.5	17.0	17.8	18.3	17.7	17.7	17.9	19.7	21.0	20.3	19.9
2002	20.1	17.0	17.8	18.2	18.6	18.2	16.5	18.4	18.4	20.0	19.4	19.3
2003	19.2	18.0	17.4	17.9	18.3	18.9	18.0	18.2	19.4	21.5	21.6	19.7
2004	19.9	17.5	18.3	19.5	19.8	18.1	17.0	17.4	18.8	20.3	21.6	18.5
2005	20.1	19.8	19.3	19.6	19.9	19.0	18.6	20.2	20.2	21.2	21.3	19.1
2006	18.5	17.8	18.4	18.5	19.0	18.8	18.7	19.1	20.4	20.8	19.2	21.0
2007	S/D	S/D	16.3	17.0	18.4	18.5	15.1	20.5	20.5	21.6	20.0	18.6
2008	18.3	17.6										
MEDIA	18.8	17.9	17.6	18.4	19.0	18.4	17.7	18.9	19.7	20.5	20.3	19.5
D.S	6.9	6.6	5.0	5.2	5.3	0.5	1.2	1.0	5.5	0.9	5.7	5.5
MÁX.	21.1	19.8	19.3	20.6	21.0	19.0	19.3	20.5	20.9	21.6	21.6	22.3
MÍN.	16.7	16.3	16.2	16.8	18.3	17.7	15.1	17.4	18.4	18.1	18.8	18.4



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

REGISTRO DE TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995					8.2	1.8	3.8	4.0	3.0	4.2	2.8	3.8
1996	4.2	5.4	5.2	5.0	2.4	1.0	1.6	2.2	3.2	2.4	4.0	1.4
1997	1.3	5.0	2.6	2.8	2.4	1.0	1.4	1.4	2.6	3.8	3.0	3.6
1998	3.6	2.6	1.8	1.0	-2.8	-6.0	-4.2	-2.6	-0.6	-0.4	-2.3	-4.8
1999	-4.6	-3.2	0.0	4.6	2.0	0.0	-0.4	-1.4	-0.4	0.0	-0.2	-0.2
2000	-1.0	0.6	0.8	0.2	0.8	-2.8	1.2	3.4	0.0	0.0	0.0	3.4
2001	5.0	4.4	3.8	1.4	1.2	0.6	0.4	-1.0	4.4	4.2	3.4	1.8
2002	2.0	2.2	2.8	1.0	0.0	-2.0	-1.6	-1.8	-2.4	-0.4	-0.9	-1.6
2003	-1.2	0.2	2.0	2.0	1.0	-1.4	-2.8	-2.0	-1.8	0.2	5.4	5.0
2004	5.0	4.4	3.6	2.0	0.0	-8.0	-1.4	-2.0	-1.8	0.0	0.2	0.2
2005	1.8	1.8	-1.8	-1.8	-2.2	2.0	1.0	2.0	3.0	1.0	0.6	0.2
2006	5.2	4.2	4.2	3.1	0.0	-1.6	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	2.0	3.0
2007			4.7	4.2	3.1	1.3	3.7	2.2	2.4	0.2	3.2	2.8
2008	5.4	5.0										
MEDIA	2.2	2.7	2.5	2.1	1.2	-1.0	0.0	0.2	0.8	1.2	1.6	1.4
D.S	3.2	2.6	2.1	2.0	2.7	3.1	2.5	2.4	2.3	1.8	2.3	2.7
MÁX.	5.4	5.4	5.2	5.0	8.2	2.0	3.8	4.0	4.4	4.2	5.4	5.0
MÍN.	-4.6	-3.2	-1.8	-1.8	-2.8	-8.0	-4.2	-2.6	-2.4	-0.4	-2.3	-4.8



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1992	86.0	90.0	91.0	91.0	84.0	86.0	82.0	83.0	77.0	76.0	71.0	70.0
1993	75.0	79.0	77.0	70.0	65.0	53.0	51.0	59.0	65.0	66.0	69.0	72.0
1994	72.0	74.0	72.0	70.0	52.0	48.0	52.0	48.0	52.0	51.0	58.0	65.0
1995	70.0	71.0	77.0	73.1	62.9	58.6	56.0	43.0	50.0	48.0	54.0	54.0
1996	67.0	72.0	71.0	66.0	50.0	42.0	37.0	52.0	47.0	48.0	50.0	63.0
1997	69.0	74.0	66.0	68.0	64.0	53.0	51.0	60.0	58.0	57.0	66.0	67.0
1998	76.0	75.0	77.0	66.0	53.0	60.0	54.0	58.0	55.0	64.0	65.7	67.7
MEDIA	73.6	76.4	75.9	72.0	61.6	57.2	54.7	57.6	57.7	58.6	62.0	65.5
D.S	6.3	6.5	7.8	8.7	11.7	14.1	13.5	12.8	10.3	10.6	8.0	5.9
MÁX.	86.0	90.0	91.0	91.0	84.0	86.0	82.0	83.0	77.0	76.0	71.0	72.0
MIN.	67.0	71.0	66.0	66.0	50.0	42.0	37.0	43.0	47.0	48.0	50.0	54.0



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
UNIDAD DE HIDROLOGIA

SISTEMA SISMET

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

ESTACION : PUCALOMA
CODIGO : 014

DISTRITO : SOCOS
PROVINCIA : HUAMANGA
DEPARTAMENTO : AYACUCHO

ALTITUD : 3493 msnm
LATITUD : 13°12'21,48"S
LONGITUD : 74°17'57,48"O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T° MÁXIMA	18.8	17.9	17.6	18.4	19.0	18.4	17.7	18.9	19.7	20.5	20.3	19.5
T° MÍNIMA	2.2	2.7	2.5	2.1	1.2	-1.0	0.0	0.2	0.8	1.2	1.6	1.4
T° MEDIA	10.5	10.3	10.0	10.3	10.1	8.7	8.8	9.6	10.3	10.9	10.9	10.5



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



Anexo L: Prueba de laboratorio de mecánica de suelos



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN

INFORME N° : GRA 21 - 2015

PROYECTO : "EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI - SOCOS - AYACUCHO".

SOLICITANTE : Bach. Mariluna De la Cruz Janampa.

UBICACIÓN Lugar : Comunidad de Pacuri
 Distrito : Socos
 Provincia : Huamanga
 Región : Ayacucho

Calicata : C - 1

Estrato : E - 1

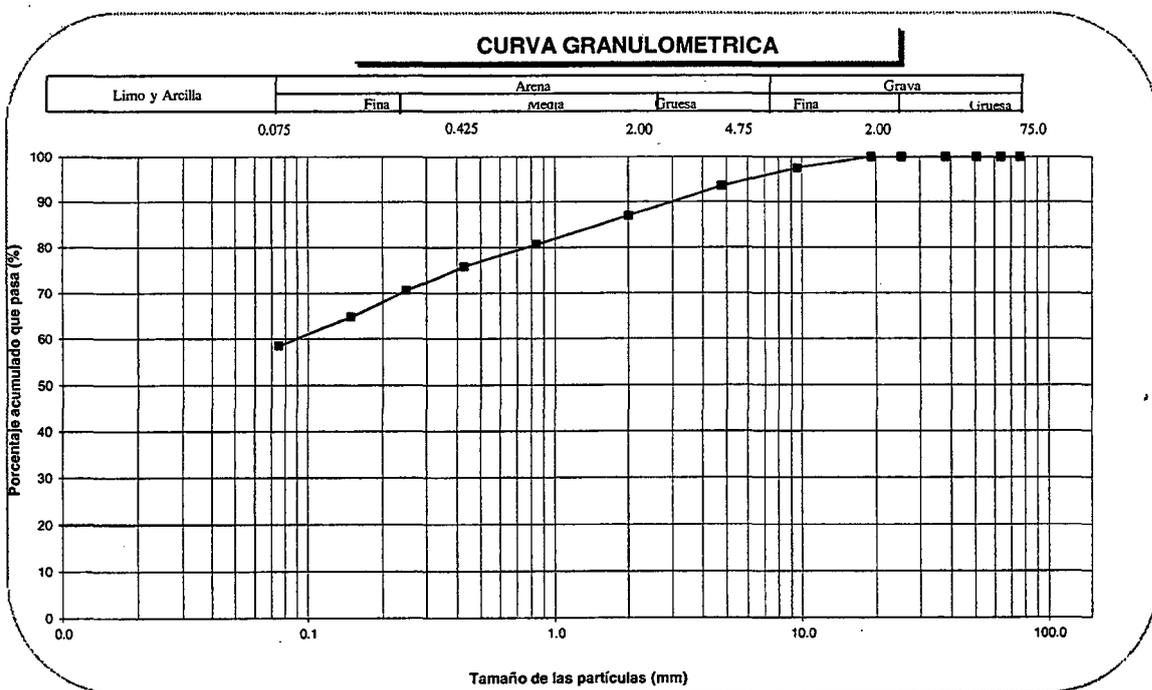
Prog. : -

Prof. (m) : 0.0 - 0.40

Fecha : Octubre de 2015

Granulometría por Tamizado ASTM - D422					
Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Retenido (gr)	% Parcial retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2½"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1½"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.525	30.0	2.5	2.5	97.5
N° 4	4.760	49.0	4.0	6.5	93.5
N° 10	2.000	79.0	6.5	13.0	87.0
N° 20	0.840	76.0	6.3	19.3	80.7
N° 40	0.426	59.0	4.9	24.2	75.8
N° 60	0.250	63.0	5.2	29.4	70.6
N° 100	0.149	71.0	5.9	35.2	64.8
N° 200	0.075	76.0	6.3	41.5	58.5
Fondo	-	709.0	58.5	100.0	-

RESULTADOS		
Contenido de Humedad Natural (w)	9.5	%
Límite Líquido (LL)	28.1	%
Límite Plástico (LP)	15.2	%
Índice de Plasticidad (IP)	12.9	%
Coeficiente	Uniformidad (Cu)	7.2
	Curvatura (Cc)	1.2
Porcentaje	Grava	6.5%
	Arena	35.0%
	Limo y arcilla	58.5%
Clasificación	AASHTO	A - 6(5)
	S U C S	CL
Nombre de Grupo SUCS:	Arcilla arenosa de baja plasticidad	



OBSERVACIONES



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

LIMITES DE CONSISTENCIA

INFORME N° : GRA 21 - 2015

PROYECTO : "EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI - SOCOS - AYACUCHO".

SOLICITANTE : Bach. Marluna De la Cruz Janampa.

UBICACIÓN Lugar : Comunidad de Pacuri
Distrito : Socos
Provincia : Huamanga
Región : Ayacucho

Callcata : C - 1

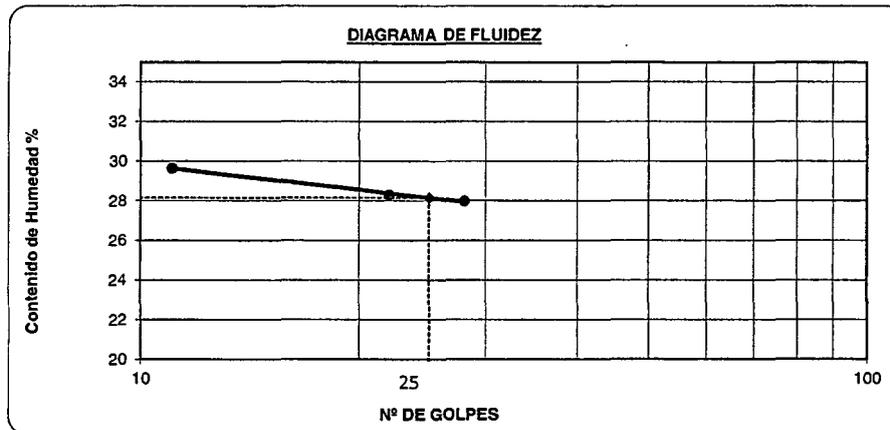
Estrato : E - 1

Prog. : -

Prof. (m) : 0.0 - 0.40

Fecha : Octubre de 2015

Límite Líquido (ASTM - D4318)			
N° de Golpes	11	22	28
N° de Tara	11	12	8
Peso tara + suelo húmedo (g)	47.80	42.50	50.10
Peso tara + suelo seco (g)	40.30	36.50	42.40
Peso tara (g)	15.00	15.30	14.90
Humedad (%)	29.6	28.3	28.0



Resultados		
LL =	28.1	%
LP =	15.2	%
IP =	12.9	%

Límite Plástico (ASTM-D3418)			
N° de tara	-	7	2
Peso tara + suelo húmedo	gr.	16.00	15.80
Peso tara + suelo seco	gr.	15.20	15.00
Peso tara	gr.	9.90	9.80
Peso del agua	gr.	0.80	0.80
Peso del suelos seco	gr.	5.30	5.20
Humedad	%	15.09	15.38
			15.2 %

OBSERVACIONES



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

ING. HAROLD CALVEZ UGARTE
DIRECTOR REGIONAL



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION

INFORME N° : GRA 21 - 2015

PROYECTO : "EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI - SOCOS - AYACUCHO".

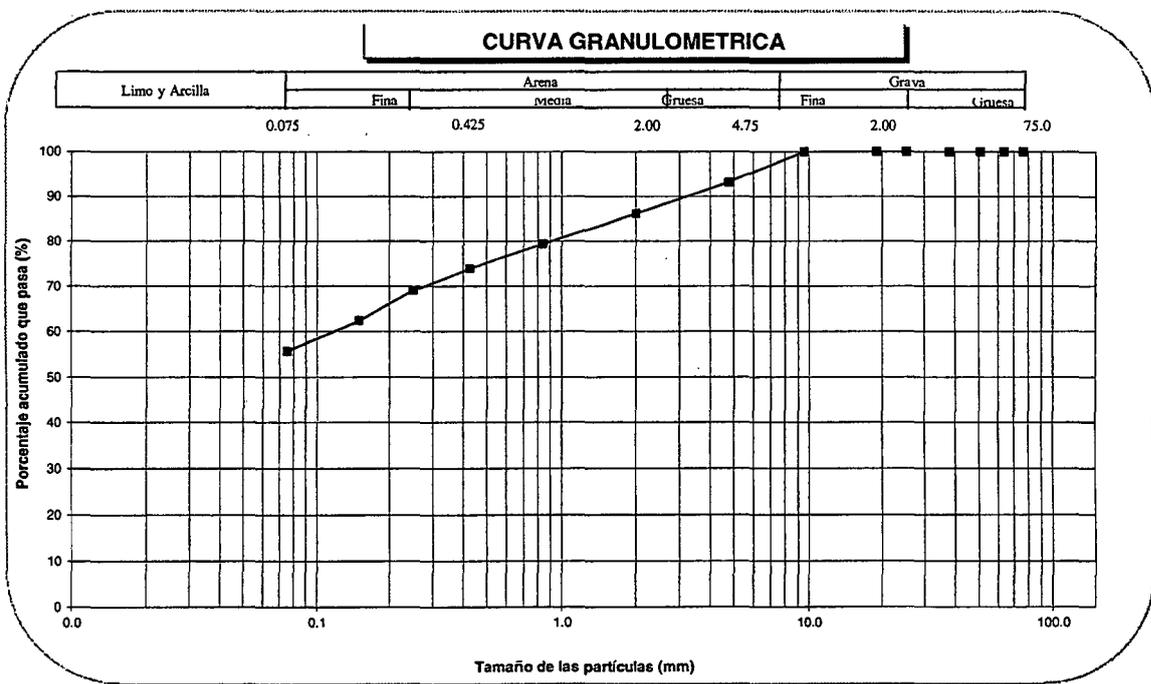
SOLICITANTE : Bach. Mariluna De la Cruz Janampa.

UBICACIÓN Lugar : Comunidad de Pacuri
 Distrito : Socos
 Provincia : Huamanga
 Región : Ayacucho

Calicata : C - 2
 Estrato : E - 1
 Prog. : -
 Prof. (m) : 0.0 - 0.40
 Fecha : Octubre de 2015

Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Retenido (gr)	% Parcial retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2½"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1½"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.760	87.6	6.9	6.9	93.1
N° 10	2.000	87.6	6.9	13.8	86.2
N° 20	0.840	85.5	6.7	20.6	79.4
N° 40	0.426	69.4	5.5	26.0	74.0
N° 60	0.250	61.9	4.9	30.9	69.1
N° 100	0.149	84.7	6.7	37.6	62.4
N° 200	0.075	85.7	6.8	44.4	55.6
Fondo	-	705.5	55.6	100.0	-

RESULTADOS		
Contenido de Humedad Natural (w)	10.5	%
Límite Líquido (LL)	31.3	%
Límite Plástico (LP)	16.5	%
Índice de Plasticidad (IP)	14.8	%
Coeficiente	Uniformidad (Cu)	9.1
	Curvatura (Cc)	1.0
Porcentaje	Grava	6.9%
	Arena	37.5%
	Limo y arcilla	55.6%
Clasificación	AASHTO	A - 6(5)
	S U C S	CL
Nombre de Grupo SUCS:	Arcilla arenosa de baja plasticidad	



OBSERVACIONES





GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACION

LIMITES DE CONSISTENCIA

INFORME N° : GRA 21 - 2015

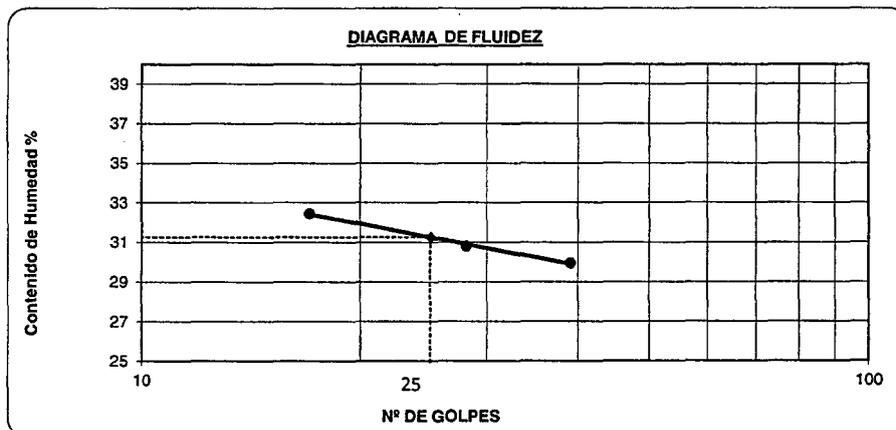
PROYECTO : "EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PACURI - SOCOS - AYACUCHO".

SOLICITANTE : Bach. Mariluna De la Cruz Janampa.

UBICACIÓN Lugar : Comunidad de Pacuri
Distrito : Socos
Provincia : Huamanga
Región : Ayacucho

Calicata : C - 2
Estrato : E - 1
Prog. : -
Prof. (m) : 0.0 - 0.40
Fecha : Octubre de 2015

Límite Líquido (ASTM - D4318)			
N° de Golpes	17	28	39
N° de Tara	12	3	2
Peso tara + suelo húmedo (g)	55.70	51.60	46.00
Peso tara + suelo seco (g)	45.80	43.00	38.90
Peso tara (g)	15.30	15.10	15.20
Humedad (%)	32.46	30.82	29.96



Resultados	
LL =	31.3 %
LP =	16.5 %
IP =	14.8 %

Límite Plástico (ASTM-D3418)				
N° de tara	-	4	2	
Peso tara + suelo húmedo	gr.	15.70	16.10	
Peso tara + suelo seco	gr.	14.90	15.20	
Peso tara	gr.	10.00	9.80	
Peso del agua	gr.	0.80	0.90	
Peso del suelos seco	gr.	4.90	5.40	
Humedad	%	16.33	16.67	16.5 %

OBSERVACIONES



GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
OFICINA REGIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN

ING. HAROLD G. GÁLVEZ UGARTE
DIRECTOR REGIONAL



Anexo M: Tablas

Tabla N° 01

COEFICIENTE MENSUAL DE EVAPOTRANSPIRACIÓN (MF)
(FACTOR DE LATITUD MENSUAL)

Latitud °S	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	2.788	2.177	2.354	2.197	2.137	1.900	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.050	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.393	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.290	2.337
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.993	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.960	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.205	2.363	2.117	1.980	1.820	1.976	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.433	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.081	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	1.976	2.180	2.470	2.497	2.610
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.520	2.643
13	2.652	2.305	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.484	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.238	2.334	1.937	1.700	1.500	1.612	1.867	2.131	1.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.327	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.678
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	2.785	2.359	2.314	1.867	1.598	1.391	1.504	1.780	2.088	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.368	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859
20	2.835	2.377	2.293	1.818	1.329	1.318	1.431	1.719	2.056	2.512	2.691	2.889

Tabla N° 02

HORAS DE SOL MÁXIMA MEDIA DIARIA (N)

Latitud °S	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4
10	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7
15	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0
20	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3
25	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7
30	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0
35	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5
40	14.7	13.7	12.5	11.2	10.2	9.3	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0
42	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2
44	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4
46	15.4	12.6	12.6	10.9	9.5	8.7	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7
48	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0

Tabla N° 03

RADIACIÓN EXTRATERRESTRE (Ra)
EXPRESADA EN EQUIVALENTE DE EVAPORACIÓN EN mm/LIA

HEMISFERIO SUR

Latitud °S	M E S E S											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
8	16.1	16.1	15.6	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
50	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2

Fuente: FAO Boletín de Riego y Drenaje N° 24



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA FORMACIÓN PROFESIONAL DE CIENCIAS AGRARIAS



Anexo N: Panel fotográfico



LOCALIDAD DE PACURI -SOCOS



UBICACIÓN DE LA CAMARA DE CARGA



EVALUACION DE LA PARCELA N° 01



HIDRANTE N° 15 (ZONA DE ESTUDIO)



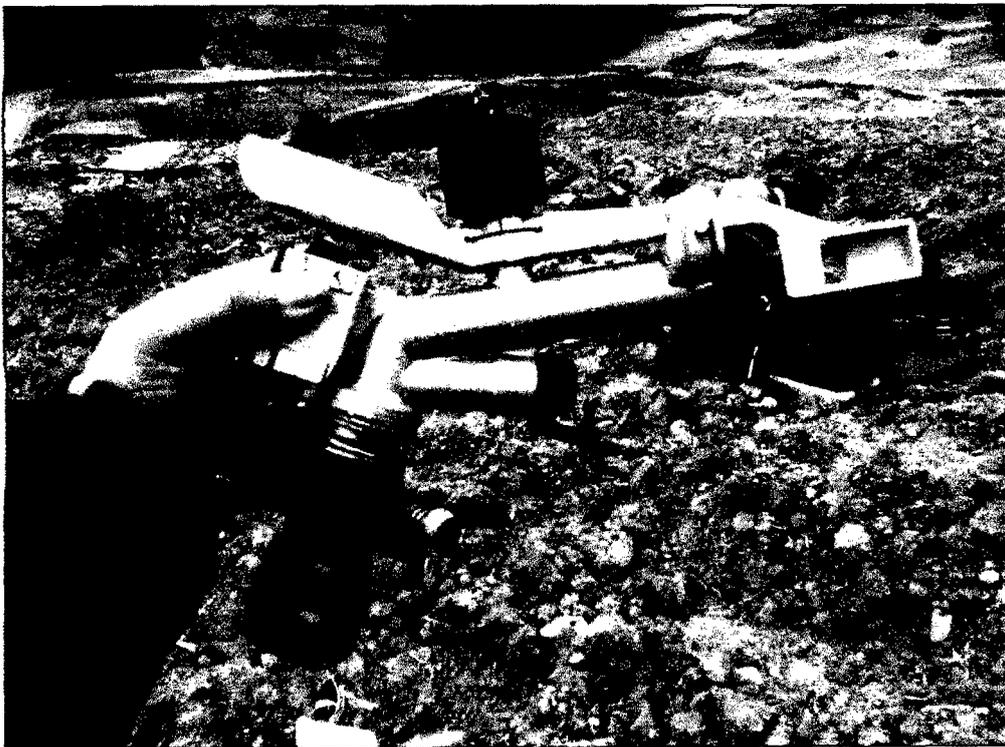
CANAL DE IRIGACION DEL PROYECTO ESPECIAL RIO CACHI



COMPUESTA PARA LA CAMARA DE CARGA



CONEXIÓN DE LA TUBERÍA HIDRANTE Nº 15



ASPERSOR



INSTALACIÓN DE LOS ASPERSORES MÓVILES



UBICANDO LOS VASOS PLUVIOMÉTRICOS



INICIO DE LA TOMA DE MUESTRA



ZONA DE TOMA DE MUESTRA N° 02



CULTIVO DE ARVEJA PARCELA N° 02



INSTALACIÓN DEL TANQUE DE EVAPORIZACIÓN



RECOJO DE MUESTRA EN LA PARCELA N° 02



RECOJO DE MUESTRA EN LA PARCELA N° 01



RECOJO DE MUESTRA EN LA PARCELA N° 02

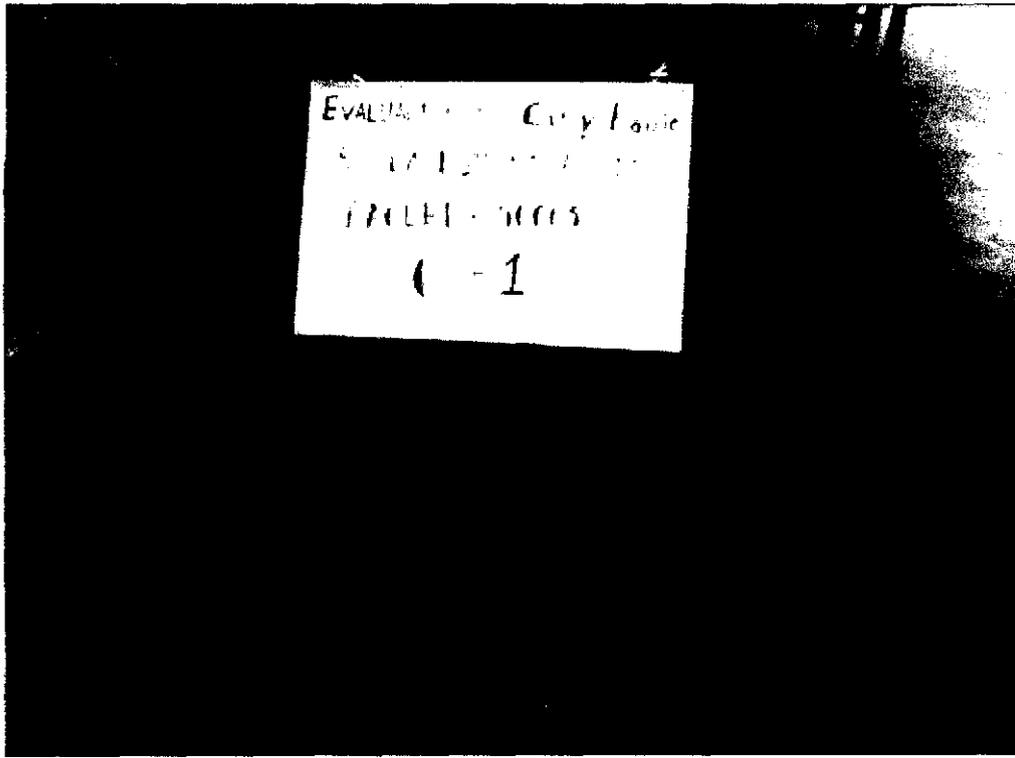


MUESTRA EN LA PARCELA N° 01

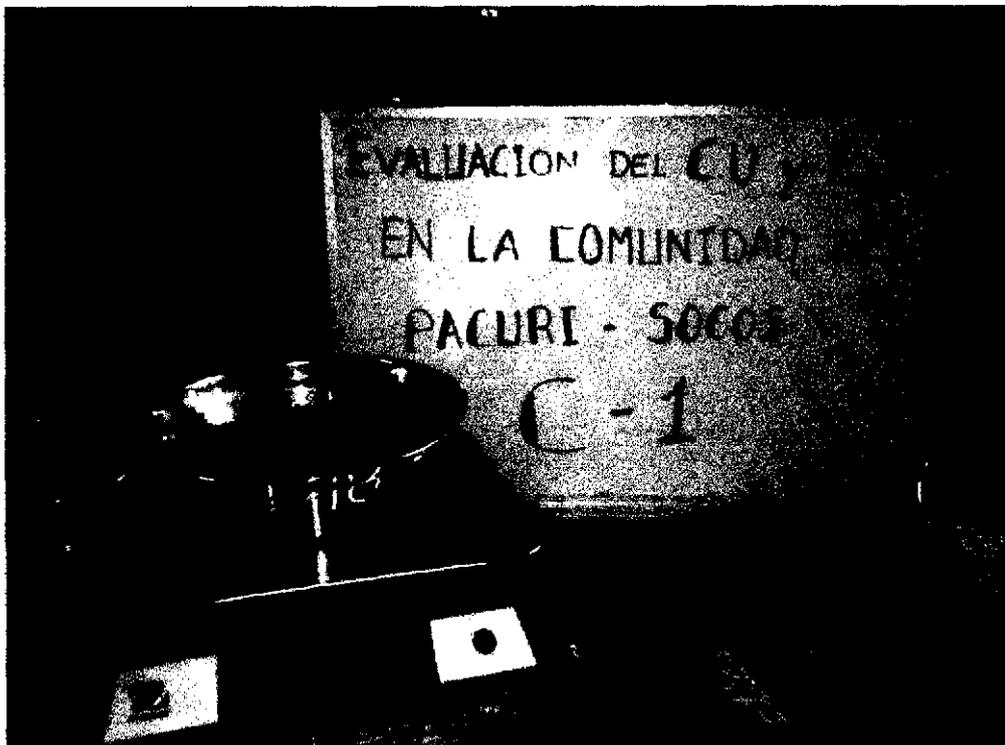




CUARTEO DE MUESTRA

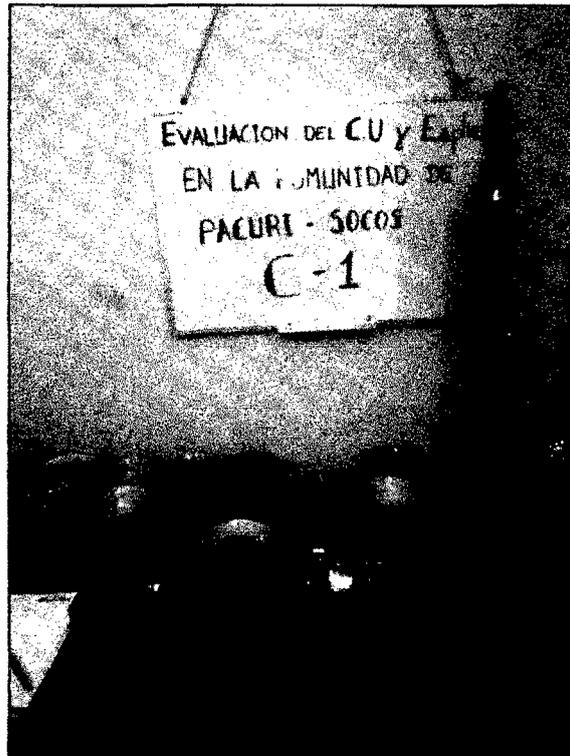


PESAJE DE MUESTRA SECA





PRUEBA DE COPA DE CASA GRANDE



CALCULO DE PRUEBA DE LIMITE PLÁSTICO





ZARANDEO DE MUESTRA PARA LA OBTENCIÓN DE GRANULOMETRÍA

