

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE AGUA MEDIANTE EL RIEGO SEMI-AUTOMATIZADO POR SURCOS EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanumtuberosum L.*) EN EL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA- SAN JERÓNIMO - CUSCO

Tesis Presentada por los Bachilleres en Ciencias Agrarias:

Amellhs Gamarra Cárdenas

Hugo Salvador Holgado Pilco

Para Optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

Asesor: Ing. Dr. Carlos Jesús Baca García

Patrocinador: UNSAAC-PACC PERU

KAYRA-CUSCO

2015

DEDICATORIA.

A mis padres; Guido Ernesto Gamarra Muñiz y Betty Cárdenas De Gamarra. Con todo el amor y aprecio que les tengo por haber inculcado en mí valores y hecho un hombre de bien para la sociedad.

Con mucho amor a mis abuelos; Feliz Cárdenas y Eusebia Yupanqui Por los consejos y apoyo que me brindo durante todo este tiempo.

A mis hermanos; Guido Alexis Gamarra, Madeleine Gamarra, Kelvins Gamarra y Tula Magnolia Gamarra. Con todo el respeto y amor que les tengo por todo el apoyo que me brindaron.

Con mucho afecto al código 2008, por todos los momentos gratos que vivimos.

AMELLHS GAMARRA CARDENAS.

DEDICATORIA

A mis padres; Emiliano Holgado Pumacayo y Estela PillcoHuarhua. Por haberme dado el regalo más grande del mundo LA VIDA y haber me enseñado los valores más importantes como son: AMOR, RESPETO Y CONFIANZA.

A mi abuelo; Venancio PillcoMesco, en el cielo y considerado como mi segundo padre la persona que me enseñó "Para salir adelante en esta vida, tenemos que tener coraje y superar cualquier obstáculo."

A mis hermanos; Mery, Alex, Mary y Eva por todo el apoyo, cariño y palabras de aliento brindado durante toda mi vida universitaria y el apoyo que estoy seguro me seguirán brindando en mi vida profesional.

A mis tíos; Porfirio Pillco y Nicolasa Lozano por todas las palabras de aliento durante mi vida escolar y universitaria

HUGO SALVADOR HOLGADO PILLCO

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Todo poderoso, a su hijo Jesucristo y la Virgen Guadalupe, por todas las bendiciones que derramaron en mí.

A la Universidad San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Carrera profesional de Agronomía, por las enseñanzas y valores inculcados en mi persona.

Al Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC-PERU), por el acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos y cada uno de los docentes de la Carrera Profesional de Agronomía por todos sus conocimientos vertidos para nuestra formación profesional y personal.

A nuestro asesor Dr. Ing. Agr Carlos Jesús Baca García; por los consejos y asesoramiento que nos brindó para la realización de nuestra tesis.

A mis padres Guido Ernesto Gamarra y Betty Cárdenas de Gamarra, por todo el apoyo que me brindaron en todos estos años de mi vida.

A mis hermanos Guido Alexis Gamarra, Madeleine Gamarra, Tula Magnolia Gamarra, y en especial a Kelvins Gamarra, por el apoyo económico y moral que brindaron durante todo mi época Universitaria.

Con mucho cariño y estima a la familia Cárdenas; En especial a mis abuelos. Por todo el apoyo económico y moral que me brindaron durante todo estos años.

A mis amigos Gary, Julio Nimer, Yudi, Yoshira, Jose, Elvis, Darwin Quispe, Darwin Yucra, Lenin Gomes, Indira Quispe, NoeRamires, Wilber, MijailCandia y a todos los integrantes del código 08.

AMELLHS GAMARRA CARDENAS.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional de SanAntonio Abad del Cusco.

A la Facultad de Agronomía y Zootecnia por habernos dado la oportunidad de formarnos en ella.

Al Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC-PERU), por el acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos los señores docentes de la Carrera Profesional de Agronomía por todos sus conocimientos vertidos para nuestra formación profesional y personal.

A nuestro asesor Ing.Agr.Dr. Carlos Jesús Baca García por todos los consejos y apoyo brindado durante el proceso de este proyecto para lograr culminarelpresente trabajo.

De manera muy especial a mis amigos de la Carrera Profesional de Agronomía y futuros colegas: José, Yudy, Marco, Gary, Isaac, Every todos los compañeros del código 2008.

Hugo Salvador Holgado Pilco

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
CONTENIDO.....	v
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xii
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION.....	1
1.1. Identificación del problema objeto de investigación.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Justificación.....	4
III. HIPÓTESIS.....	5
3.1. Hipótesis general.....	5
VI. MARCO TEÓRICO.....	6
4.1. Antecedentes.....	6
4.2. Riego por superficie.....	7
4.3. Dimensionamiento de sistemas de riego por surcos.....	20
4.4. Evaluación de desempeño de sistemas de riego.....	30
4.5. El agua y la atmosfera del suelo.....	33
4.6. Movimiento de agua en el suelo.....	35
4.7. Métodos para medir caudales.....	39
4.8. Estudio del suelo.....	41
4.9. Estudio climatológico.....	47
4.10. Sistematización de la superficie del suelo para riego.....	57
4.11. La fertirrigación en sistemas de riego por surcos con caudal continua y reducido.....	68
4.12. Cultivo de papa.....	69

V.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION	76
5.1.	Periodo y lugar del experimento	76
5.2.	Materiales de investigación.....	77
5.3.	Metodología	80
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	123
6.1.	Resultado del diseño y la evaluación del riego semi-automatizado	123
6.2.	Resultados del diseño agronómico.....	126
6.3.	Resultados del dimensionamiento de surcos.....	129
6.4.	Resultados de operación del sistema de riego con caudal continuamente reducido	130
6.5.	Resultados de la evaluación del equipamiento de fertirriego.....	132
6.6.	Resultados de la evaluación del riego y perdidas por percolación	133
6.7.	Resultados del cálculo de la demanda hídrica del cultivo de papa.....	138
6.8.	Resultados de rendimiento del cultivo de papa mediante el riego semi-automatizado por surcos.....	139
VII.	CONCLUSIONES	141
VIII.	RECOMENDACIONES	142
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	143
X.	ANEXOS.....	146

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Superficie agrícola bajo riego por tipo según región natural.....	1
Cuadro 2	Valores e los coeficientes C y A para diferentes tipos de suelo.....	24
Cuadro 3	Profundidad radicular de algunos cultivos.....	25
Cuadro 4	Eficiencia de riego de mantenimiento en los proyectos de Amaru, Pisac y Huama Lamay	36
Cuadro 5	Clasificación de magnitud de infiltración.....	37
Cuadro 6	La textura y su variación en diámetro.....	44
Cuadro 7	Efecto de la estructura sobre la infiltración.....	45
Cuadro 8	Coefficiente del cultivo de papa (Kc), para sus cuatro estadios.....	55
Cuadro 9	Análisis fertilidad del suelo	90
Cuadro 10	Análisis de caracterización del suelo.....	90
Cuadro 11	Análisis de humedad, densidad y profundidad del suelo.....	91
Cuadro 12	Planilla de manejo de riego.....	99
Cuadro 13	Cotas originales obtenidas con una estación total.....	123
Cuadro 14	Cotas calculadas.....	124
Cuadro 15	Calculo de cotas (-) y relleno (+) en metros.....	125
Cuadro 16	Ajustes de cotas (-) y relleno (+) en metros.....	125
Cuadro 17	Calculo de volúmenes de tierra a ser movidas (m ³).....	126
Cuadro 18	Parámetros del diseño.....	127
Cuadro 19	Láminas de riego calculadas en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 10 cm de	128
Cuadro 20	Láminas de riego calculadas en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 20 cm de	128
Cuadro 21	Láminas de riego calculadas en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 40 cm de	128
Cuadro 22	Aforos de caudales derivados de los orificios de la tubería.....	129
Cuadro 23	Balace volumétrico para diferente longitudes de surco.....	130
Cuadro 24	Resultados de operación del sistema de riego.....	131
Cuadro 25	Calculo de fertilizantes para el cultivo de papa.....	132
Cuadro 26	Contenido de nitrógeno total del suelo después de la fertirrigación.....	133
Cuadro 27	Calculo de las láminas infiltradas en el suelo después de riego.....	134
Cuadro 28	Calculo del indicador de la eficiencia de aplicación	137
Cuadro 29	Calculo de la demanda hidrica del cultivo de papa durante su etapa de desarrollo	138
Cuadro 30	Peso de las muestras de los tubérculos del cultivo de papa.....	139
Cuadro 31	Datos estadísticos.....	139
Cuadro 32	Proyección al área trabajada.....	140
Cuadro 33	Datos estadísticos método peso por área.....	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coefficiente Kp del tanque clase A (suelo sin vegetación)	53
Tabla 2	Coefficiente Kp del tanque clase A (suelo desnudo)	53
Tabla 3	. Nivel de fertilización para el cultivo de papa	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de riego por surcos con Cablegation System	15
Figura 2	Dimensiones de surcos a) suelos arenosos b) suelos arcillosos	21
Figura 3	Humedecimiento ideal (a) y separación entre surcos excesiva	22
Figura 4	Formas presentes del agua y del aire en el suelo	34
Figura 5	Comparación aproximada de un suelo	42
Figura 6	Perfil del suelo citados por Cisneros A Rodolfo	43
Figura 7	Triangulo textural citado por Carazas G. Venancio	44
Figura 8	Representación de un estoma	49
Figura 9	Tanque clase A	52
Figura 10	Rangos tapiocas esperados del valor Kc para los cuatro etapas de crecimiento	55

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1	Curvas de avance y resección	29
Grafico 2	Nivel de observación de variables climáticos	50

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Captación sector "chanchería"	81
Fotografía 2. Reconocimiento de área de investigación Parcela C -2	82
Fotografía 3. Selección de área de investigación parcela C-	83
Fotografía 4. Punto de muestreo para estudio de suelo	84
Fotografía 5. Muestra de suelos homogeneizada	85
Fotografía 6. Condiciones en la que se encontró la parcela C-2	86
Fotografía 7. Quema de restos de cosecha parcela C-2	87
Fotografía 8. Rastra para la eliminación de irregularidades del suelo	87
Fotografía 9. Levantamiento topográfico	88
Fotografía 10. División de área en cuadrantes 5x5 metros.....	89
Fotografía 11. Obtención de cotas originales de cada estaca	90
Fotografía 12. Marcación de los cuadrantes	94
Fotografía 13 .Movimiento de tierra con tractor agrícola	95
Fotografía 14. Labor de rastrado posterior al movimiento de tierra	95
Fotografía 15. Instalación de estacas en cabecera de campo.....	102
Fotografía 16. Nivelación de la cabecera en la parcela C 2.....	102
Fotografía 17. Pintado y perforación de tubos	103
Fotografía 18. Tubería instalada en la cabecera de parcela.....	104
Fotografía 19. Angulo de los orificios	104
Fotografía 20. Embolo de plástico	105
Fotografía 21. Cilindro de recepción del caudal.....	106
Fotografía 22. Operación de control de embolo.....	107
Fotografía 23. Aforo de caudales de los orificios de la tubería	108
Fotografía 24. Pruebas de avance.....	109
Fotografía 25. Pruebas de infiltración por el método de entradas y salidas	110

Fotografía 26. Obtención de datos de infiltración.....	111
Fotografía 27. Tanque clase A instalado en campo.....	113
Fotografía 28. Equipamiento de fertirriego.....	114
Fotografía 29. Turbulencia en el cilindro de recepción del caudal.....	115
Fotografía 30. Riego del cultivo de papa a los 55 días	115
Fotografía 31. Riego del cultivo de papa después del primer aporque.....	116
Fotografía 32. Fertirrigación del cultivo de papa.....	116
Fotografía 33. Desarrollo del cultivo de papa a los 75 días	117
Fotografía 34. Inicio de la floración del cultivo de papa	117
Fotografía 35. Punto de muestreo para evaluar la fertirrigación	118
Fotografía 36. Muestra de suelo después del riego siendo pesada.....	119
Fotografía 37. Muestra de suelo secado en estufa durante 24 hr.....	120
Fotografía 38. Etiquetado de las plantas de papa	121
Fotografía 39. Pesado de la papa.....	121
Fotografía 40. Marcado del área para la evaluación de rendimiento.....	122
Fotografía 41. Recolección de los tubérculos del surco marcado.....	122

RESUMEN

El trabajo que a continuación se presenta se realizó desde el 15 de julio de 2014 hasta el 15 de marzo de 2015 en la Parcela C-2, del Centro Agronómico K'ayra, Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, teniendo como objetivo general: "Determinar la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L. Var. **ÑUSTA - CICA**) mediante el riego semi-automatizado por surcos"

Dado que todo método de riego superficial, presenta exigencias con respecto a la uniformidad de la superficie del suelo, como una de las primeras actividades se procedió a la realización del acondicionamiento del área de estudio ubicada en la parcela C-2, trabajo que garantizó una adecuada distribución del agua de riego por surcos.

Las partes que constituyeron el sistema de Riego Semi – Automatizado por surco fueron: El reductor de caudal que consta de; un cilindro de recepción de caudal (el cual tiene una manija de metal y una pequeña traba, que mediante un cordelhuascar controló el deslizamiento de un émbolo de plástico dentro de la tubería de abastecimiento).

El funcionamiento hidráulico del reductor de caudal, se debió a que el émbolo dentro de la tubería de abastecimiento constituye un obstáculo para el escurrimiento del agua, aumentando la carga hidráulica en el orificio próximo al émbolo; como la tubería fue instalada con una pendiente uniforme de 1 %, la presión hidrostática a la cual fue sometido cada orificio fue diferente y reducida progresivamente, por consiguiente los caudales emitidos por cada orificio fueron diferentes y reducidos. El deslizamiento del émbolo permitió que los surcos sean alimentados con caudales menores progresivamente.

El caudal que alimentó al método de riego fue de 5 l/s, con dicho caudal funcionaron 7 orificios, los cuales fueron aforados por el método volumétrico obteniendo los siguientes resultados 0.36, 0.47, 0.54, 0.60, 0.66, 0.73, 0.79, l/s dándole mayor importancia a 0.54 l/s por ser el más próximo al caudal no erosivo hallado (ecuación 11).

Para hallar el largo del surco recomendado se realizó las pruebas de avance con jalones colocados cada 10 m, y tomando los respectivos tiempos; las pruebas de infiltración se realizaron con el método de entradas y salidas con un aforador de 2 l/s.

La evaluación de riego se realizó a través de la obtención de muestras de suelos, para determinar el contenido de humedad antes y después del riego, con lo cual se halló la eficiencia de aplicación que alcanzó a un 60.87 %

La determinación de la demanda hídrica del cultivo de papa fue mediante las lecturas diarias de evaporación de agua del Tanque Clase A y datos climáticos de humedad relativa y velocidad de viento, datos que se incorporaron en la planilla de manejo de riego para determinar la evapotranspiración de cultivo (ETc) diaria y posterior cálculo de la demanda hídrica del cultivo de papa durante su desarrollo en campo.

El equipamiento de fertirriego instalado se evaluó a través de la toma de muestra de suelo posterior a la fertirrigación para determinar la uniformidad de distribución del fertilizante nitrogenado en los surcos de riego.

La determinación del rendimiento del cultivo de papa se realizó mediante el promedio de peso de 60 muestras de matas de papa y el método peso por área.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso cada vez más escaso. Nuestro país es considerado como uno de los más vulnerables a los efectos del cambio climático.

Los impactos del cambio climático plantean muchas necesidades, en el sentido de que en el futuro se piensa que va a haber zonas con riesgo que no cuenten con el recurso hídrico en el mundo incluido el Perú. La sierra sur, aparentemente va a ser la más afectada; por esta razón, la necesidad de realizar investigaciones que contribuyan a optimizar el uso del agua de riego, incrementando la eficiencia de aplicación del agua de riego.

El riego por superficie (gravedad) continua teniendo una importancia relevante en el desarrollo del riego, En nuestro país, el riego por gravedad es utilizado en más de 1 590 545.73 hectáreas, significando el 88.0% del total, la superficie bajo riego por gravedad predomina en la Costa y Sierra representando el 83.3%.

Del total de los sembríos de papa en el Perú el 95 % se realiza en la sierra y de este total de sembríos de papa solo el 20 % usa agua de riego y el 80 % restante es sembrado bajo secano óseo con la lluvia estacional. En la sierra, es necesario reforzar las actividades de capacitación y transferencia de tecnologías sobre el manejo eficiente del recurso hídrico, que debido a los efectos del cambio climático y a la mayor demanda del recurso hídrico la producción de papa se volverá limitante en los próximos años.

La eficiencia del riego por gravedad o por surcos tradicional está entre 30 a 35% por tanto es indispensable seguir realizando investigaciones para lograr aumentar la eficiencia de este método de riego ya que es el más utilizado en la sierra sur debido al bajo costo de instalación, frente a ello al desarrollar el proyecto de tesis se pretende alcanzar una eficiencia de más de 50 % del riego aplicado, todo esto orientado a aumentar la productividad de sus cultivos.

Los Autores

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

En un estudio realizado, en el valle de San Joaquín, California (EE.UU), en el 2010 determinaron el porcentaje de los métodos de riego para cultivos anuales: surco 53%, goteo 33%, por superficie 32% y aspersion 15%; sumando los métodos de riego por surcos y riego por superficie se tiene el 85% de riego por gravedad en un país de primer mundo.

En el Perú según el IV CENAGRO se tiene la siguiente información en materia de riego.

Cuadro 1. Superficie agrícola bajo riego por tipo, según región natural

REGION NATURAL	TOTAL (ha)	%	GRAVEDAD (ha)	ASPERSION (ha)	GOTEO (ha)	EXUDACION (ha)
TOTAL	1808302	100	1590546	86873	127200	3683
COSTA	939293	51.9	797664	15675	123536	2418
SIERRA	771246	42.7	705594	62253	2716	683
SELVA	97764	5.4	87288	8946	948	582

Fuente: IV CENAGRO INEI, 2012.

En la región del Cusco más del 97% del riego es por gravedad, y a nivel nacional, aproximadamente llega al 88%, por ser un método de riego muy económico principalmente en la sierra, de manera que siempre va a prevalecer por su bajo costo de instalación, es el método de riego más utilizado en la actualidad en nuestra región, pero su práctica tradicional trae consigo problemas de pérdida de agua por percolación, escurrimiento y erosión de suelos.

La limitada disponibilidad y la creciente escases de agua con fines de riego hace necesaria la investigación en la mejora de la eficiencia de aplicación de agua de riego, principalmente en los métodos de riego por superficie.

La eficiencia de aplicación mediante el riego por surcos tradicional es de 30 a 35 % conduciendo a la utilización de mayores volúmenes de agua para regar las áreas de cultivo, frente a otros métodos de riego, principalmente los presurizados

con los cuales se optimiza la utilización del agua.

El bajo nivel tecnológico, las precarias infraestructuras utilizadas en su práctica, además de agricultores regantes poco hábiles en su operación se suman a estos problemas.

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) requiere por lo menos de 400 a 600 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculos, por ello la eficiencia del uso del agua es baja en condiciones de riego comunes y no supera los 2.3 kg/m³

De manera que no existe información alguna sobre el diseño y evaluación del riego semi-automatizado por surcos, manejo eficiente de la aplicación de agua, demanda hídrica, equipamiento de fertirrigación y rendimiento del cultivo de papa mediante el riego semi-automatizado por surcos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿La baja eficiencia de riego manifestado por el riego por surcos tradicionales; con la sistematización de las áreas de cultivo y el riego por surcos tecnificado mejora la eficiencia de riego?

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de papa (*Solanumtuberosum L. Var. ÑUSTA - CICA*) mediante el riego semi-automatizado por surcos en el centro agronómico K'ayra-Cusco.

2.1.1. Objetivos específicos

1. Diseñar y evaluar el riego semi-automatizado por surcos con caudal continuamente reducido.
2. Proponer un manejo eficiente del recurso hídrico para evitar pérdidas por percolación.
3. Calcular la demanda hídrica del cultivo de papa (*SolanumtuberosumL. Var. ÑUSTA - CICA*) mediante el uso del Tanque Clase A.
4. Proponer un equipamiento de fertirrigación aplicado al riego semi-automatizado por surcos con caudal continuamente reducido.
5. Determinar el rendimiento del cultivo de papa(*SolanumtuberosumL. Var. ÑUSTA - CICA*) con riego semi-automatizado por surcos con caudal continuamente reducido.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Los efectos del cambio climático en nuestro país es cada vez más evidente y uno de los recursos que más está siendo afectado es el agua, según datos del SENAMHI, las temporadas de lluvias se están acortando y están aumentando en intensidad, esto ocasiona problemas en la disponibilidad del agua para fines de irrigación de cultivos agrícolas.

El riego es un componente fundamental en el desarrollo agrario sustentado, pero debido a la creciente escasez de este recurso hídrico; este se ha convertido en un factor limitante en la agricultura. Para poder contrarrestar esta problemática se hace necesario la incorporación y el aprovechamiento de los avances científicos en el campo de las irrigaciones de tal manera que cada vez, que se use este recurso sea el más eficiente posible, reduciendo las pérdidas innecesarias en su uso.

La tecnificación del riego por surcos presenta amplia ventaja en los costos de instalación, frente a los sistemas de riego presurizado (aspersión y goteo) y gracias a su adaptación a todos los cultivos instalados en hileras hacen que sea una alternativa bastante provechosa para los agricultores, sobre todo para aquellos pequeños agricultores de subsistencia.

El trabajo de aplicación de agua al cultivo de papa (riego) es de mucha importancia porque el rendimiento del cultivo está directa y positivamente relacionado con la cantidad total de agua aplicada por campaña.

El cultivo de papa es muy sensible tanto a la falta (déficit) como al exceso de agua. El exceso puede ser contrarrestado de diferentes formas pero las pérdidas que causa la deficiencia de agua son más comunes y notorias. La mayor parte del cultivo de papa es producida bajo un sistema de riego por gravedad, por tal razón la importancia de la investigación en este sistema de riego.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores la responsabilidad y compromiso cae en nuestros hombros, como Carrera Profesional de Agronomía estamos en la obligación de proponer alternativas que sean fáciles, económicas y eficientes de preferencia en el orden planteado.

III. HIPÓTESIS

3.1. HIPÓTESIS GENERAL

El riego semi-automatizado por surcos posibilita el incremento de la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L. Var. **ÑUSTA - CICA**) en el centro agronómico K'ayra-Cusco.

VI. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES

El método desarrollado fue utilizado principalmente en cultivos que se implantan en surcos o corrugaciones. El sistema básico fue instalado en 1980 similar a las tuberías en los cuales se hicieron orificios por los cuales el flujo de agua va directamente a los surcos (**Worstell, Kemper, & Kincaid, 1981**).

El sistema básico fue instalado en Agosto de 1980, es similar a los sistemas de tuberías, en el cual las salidas están cerca de la parte alta de la tubería.

El riego con caudal reducido consiste en aplicar caudales por surco entre 0.1 a 0.3 L/s. Ha sido evaluada por Cenicafña con la cooperación de ingenios y cultivares de caña en zonas de Piedemonte del valle del río Cauca con pendientes mayores de 1%, suelos pocos profundos, alto contenido de piedra, baja capacidad de almacenamiento. (**M. Sc. Ricardo Cruz V. CENICAÑA 2001**).

Investigadores de la USDA Agricultural Research Service, en Kimberly, Idaho, USA, (Kemper et al., 1981) desarrollaron un equipamiento para la aplicación de agua a los surcos denominado "cablegation" (**Scaloppi, 2011**).

Cablegation es descrito por Kemper et al., (1981), como un sistema de riego automático, en el cual una sola tubería en la cabecera de parcela cumple ambas funciones de transportar y distribuir agua a los surcos (**Goel et. al, 1982**).

La instalación se hizo en seis campos de cultivo, estos a su vez fueron evaluados particularmente durante 1981. Estos incluían la zona sur central de Idaho, una cerca a Emmett, Idaho, una en la Uintah Basin de Utah, y una en el Grand Valley de Colorado. El tamaño de los campos de cultivo varió entre 40 y 80 acres (1 acre=4.047 m²). Los cultivos fueron arvejas, remolacha, maíz y alfalfa (**Worstell, Kemper, & Kincaid, 1981**).

Una nueva técnica de riego por superficie con posibilidades de ser automatizado fue desarrollada en respuesta al incremento de costos de energía requerida para el riego y a la carencia de irrigadores hábiles y capacitados en la operación de sistemas de riego. El concepto es básicamente simple, pero requiere de ajustes

en su diseño para cada sitio específico y cuidado en su instalación para hacerlo un sistema más efectivo y eficiente. Investigadores futuros se dirigirán hacia la mejora de la eficiencia de aplicación del presente sistema y hacer el concepto básico más adaptable(Worstell, Kemper, & Kincaid, 1981).

Tesis: RIEGO SEMI-AUTOMATIZADO POR SURCOS CON CAUDAL CONTINUAMENTE REDUCIDO EN EL CULTIVO DE LECHUGA- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA- SAN JERÓNIMO – CUSCO. Presentado por los bachilleres en ciencias agrarias. Mijaíl YasmaniCamdiaArmuto y WilverLovonYahuir

4.2. RIEGO POR SUPERFICIE

El riego por superficie es un sistema de riego en donde el agua fluye por gravedad utilizándose la superficie del suelo agrícola como parte del sistema de distribución del agua. El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo. Para que la lámina de agua infiltrada se distribuya lo más uniformemente posible a lo largo de la parcela es preciso diseñar y manejar el riego de tal forma que haya un equilibrio en los procesos de avance e infiltración del agua.

Tipos de riego por superficie

El riego por superficie se puede hacer de dos formas:

1. Riego a manta: El agua moja toda la superficie del suelo
2. Riego por surcos: El agua fluye por surcos paralelos infiltrándose por el fondo y costado de los mismos, sin que la superficie del suelo quede mojada en su totalidad. Los surcos pueden ser con pendiente cero (en surcos cortos) o con pendientes distintas de cero (en surcos largos).(Fuentes, J. 2003)

En estos sistemas, el agua corre lentamente y se filtra a través de los surcos, pequeños canales abiertos regularmente, equidistante, en el sentido de la mayor distancia. Los surcos deben de tener pendiente suave y uniforme y ser alimentados por pequeños caudales para que la mayor parte del agua que escurre por ellos se vaya infiltrando uniformemente a lo largo de la parcela. (Santos, L. 2010)

4.2.1. Técnicas de mejora del riego por superficie

En el riego por superficie se produce mayor porcentaje de pérdidas de agua que en otros sistemas de riego, pero esto no tiene que ser necesariamente así, ya que se pueden conseguir altas eficiencias cuando el agua se aplica con criterios racionales estudiados.

Aparte de los programas de ordenador para el diseño de unidades de riego, los avances técnicos más notables en riego por superficie son los siguientes:

➤ Automatización del riego

Los métodos de riego por superficie más susceptibles de automatizarse son el riego por inundación permanente de compartimentos cerrados y el riego de surcos mediante tubería con compuertas. En el primer caso la automatización consiste en un mecanismo que controla la apertura y cierre de las compuertas por donde fluye el agua al compartimento.

El riego por surcos mediante tubería con compuertas puede automatizarse mediante unas válvulas (eléctricas, hidráulicas o neumáticas) que controlan el flujo de agua. Estas válvulas tienen un distribuidor con tres posiciones, lo que permite dirigir el agua a uno u otro de dos grupos de surcos o a ambos a la vez. En primer lugar se riega con todo el caudal hasta que el agua llegue al final; a continuación se riega de igual forma el otro grupo de surcos, y después se riegan los dos grupos de surcos con el caudal repartido entre ambos. **(Fuentes, J. 2003)**

➤ Sistemas semi-automáticos de irrigación por surcos

En general los proyectos de irrigación por superficie presentan una baja eficiencia. Son dos los principales factores por esta baja eficiencia: proyectos mal dimensionados e interferencia del irrigante en el manejo del sistema.

En cuanto al primer factor, proyectos mal dimensionados, una de las maneras de poder resolverlo consiste en mejorar los conocimientos técnicos-científicos de los profesionales responsables de los proyectos de irrigación.

En cuanto al segundo factor, interferencia del regante en el manejo del sistema, la

manera de resolverlo es mejorando el nivel educacional del irrigante o proyectar sistemas de irrigación que minimicen su interferencia.

Los sistemas de irrigación por surcos, comúnmente utilizados, exigen mucha mano de obra en general posees una baja eficiencia de aplicación. La eficiencia de aplicación puede ser aumentada con uso de irrigación reduciéndole el caudal inicial o sea usar un caudal inicial hasta que el agua infiltra al final del surco, después hacer una reducción del caudal y permanecer con el reducido hasta que la lámina de irrigación sea aplicada al final del surco.

Existen dos métodos que permiten la semi-automatización:

➤ **Método semi-automático de tubos**

Usándose tubos rectilíneos, de longitud variada entre 50 y 100 cm, instalados horizontalmente, atreves de la pared del canal. El caudal de cada tubo depende de la carga hidráulica en la entrada del canal y del diámetro del tubo, este método reduce la mano de obra exigida de (+,-) 90% en relación a los sistemas convencional de irrigación por surcos. Este sistema también aplica agua con mayor eficiencia que el sistema convencional por hacer irrigación con reducción del caudal inicial lo que es inherente al propio método.

➤ **Método semi-automático de sifones**

Este método consiste en instalar dos sifones por surco, con diámetros diferentes cuando el frente de avance llega al final del surco retirar el sifón de mayor diámetro, en este caso el caudal inicial será la suma de caudales de dos sifones y el caudal reducido será el caudal del sifón de menor diámetro.

Eficiencia de irrigación por surcos.

➤ **Riego por surcos con caudal continuamente reducido**

El sistema simplificado consiste básicamente de una caja de recepción de agua que está conectada a una tubería de PVC de aplicaciones sanitarias, al interior del cual se desliza un émbolo constituido por la parte superior de una botella de

plástico. Este artefacto es conectado a una pita nylon que se envuelve en una manija que debe ser fijado a la parte superior de la caja de recepción **(Scaloppi, 2011)**.

Los sistemas de riego con cable integran un pequeño depósito al inicio donde se regula el nivel del agua (por lo tanto, la carga para el funcionamiento de los orificios), un enrollador del cable y un mecanismo para el control de la velocidad con que se desenrolla, el tapón y la tubería perforada. La regulación de la velocidad puede realizarse por un comando hidráulico o electrónico. El depósito puede ser utilizado para la inyección de abonos líquidos **(Santos et al., 2010)**.

La pendiente de la tubería del sistema cablegation varió entre 0.2 a 3 % en la primera instalación. La tubería fue instalada con una pendiente constante para asegurar la mayor uniformidad de descarga en las salidas. Cuando la pendiente se incrementa, las salidas tienden a hacerse pequeñas, cuando se disminuyen tienden a hacerse más grandes que entregan un aplicación mucho más uniforme **(Worstell, Kemper, & Kincaid, 1981)**.

La mayor dificultad en el manejo de estos sistemas es la elección conjunta de la inclinación que habrá que dar a la tubería (cuanto menos inclinado, más tiempo tarda el riego), de la velocidad de avance del tapón (cuanto menor, más tarda el riego), y del caudal inicial y corte final. Normalmente, el ajuste se hace mediante medición, pero puede ser calculado ya que existen modelos específicos para la determinación de la pendiente-velocidad-caudal.

La derivación del agua a los surcos se obtiene a través de orificios perforados en la tubería teniendo dimensiones apropiadas y siguiendo un alineamiento posicionado cerca de 60° en relación a la superficie.

El orificio más próximo al embolo presenta mayor caudal, que se va reduciendo en los orificios más alejados **(Scaloppi, 2011)**.

4.2.1.1. Funcionamiento del riego por surcos con caudal continuamente reducido

Un cable cuyo desenrolla miento es controlado por un sistema mecánico o de

relojería, mueve el tapón y comanda su velocidad de avance en el interior de la tubería con compuertillas. Si la tubería tiene una inclinación suficiente, porque es pequeña la carga necesaria para el movimiento del agua en la misma, los caudales debitados por los orificios son máximos junto al tapón, donde la carga es mayor; decreciendo hacia el inicio; así desplazando el tapón, cada orificio estará sometido a una carga sucesivamente menor, con la correspondiente disminución de caudales derivados, hasta que estos se anulan. El tapón es introducido en el tubo en el inicio y retirado por el extremo aguas abajo después del riego. La salida por los orificios puede cortarse bruscamente (cut-off) si se dotan del dispositivo apropiado; en general, pequeños tubos curvos, también denominados de cuello de cisne (**Santos et al., 2010**).

La derivación de agua a los surcos es obtenida a través de orificios perforados en la tubería teniendo dimensiones apropiadas y siguiendo un alineamiento posicionado cerca de 60° en relación a la superficie. La tubería instalada con una pendiente mínima de 0.5 % en dirección de la tubería.

La presión hidrostática promueve el deslizamiento del "plug" desde que la manija de control este destrabada. El periodo adoptado para el deslizamiento del "plug" resume un procedimiento operacional con mucho criterio que debe resultar en un desempeño satisfactorio del riego (**Scaloppi, 2011**).

El proceso de riego con recorte progresivo de los caudales de alimentación es normalmente practicado a través de un sistema de automatización denominado riego con cable (Santos et al., 2010).

El reductor de caudal descrito por Kemper et al. (1981), se resume en tuberías simples, con función de transmisión y distribución de agua, comportándose como un canal principal de riego (**Fonseca, 1997**).

Kemper et al., (1981) de la Universidad de Idaho (Kimberly, USA), instalaron una tubería con orificios, dispuesta a lo largo de la cabecera de parcela, con una pendiente mínima de 0.3 %. Al interior de la tubería se desliza un émbolo controlado por un cabo que es desenrollado con velocidad regulada por un mecanismo comandado por un motor eléctrico o sistema hidráulico. La velocidad

de avance del embolo determina, de este modo, el tiempo de riego para cada surco. El émbolo, mantenido por el cabo en una determinada posición, constituye un obstáculo al escurrimiento e incrementa el nivel del agua entrante, de forma que al adquirir una carga piezométrica se determina el caudal a través de los orificios. Como el tubo está asentado en un gradiente de declive constante, el agua llega siempre al mismo nivel máximo. A medida que el embolo se arrastra, la carga y por consiguiente el caudal, van decreciendo hasta anularse. Por tanto cada surco opera con caudales decrecientes durante el tiempo de riego, en cuanto a los surcos que se riegan al mismo tiempo, los orificios próximos al émbolo presentan los mayores caudales (**Fonseca, 1997**).

4.2.2. Desenvolvimiento hidráulico del reductor continuo de caudal

Reduciendo la tasa de infiltración del suelo, el régimen de caudal continuamente reducido produce un aumento en la velocidad de avance de agua al surco, consecuentemente, reduciendo las pérdidas por percolación. Adicionalmente, el escurrimiento superficial excesivo en la sección final del surco puede ser minimizado, a través del control del caudal de entrada. La aplicación de caudal continuamente reducido puede ofrecer aplicaciones de agua más eficientes y uniformes, y una disminución del costo operacional de riego (**Kemper & Kincaid, 1982**).

Cada surco recibe una sucesión de caudales decrecientes en cada aplicación. Este esquema favorece la eficiencia de aplicación de agua, proporcionando mayores distancias de avance con mayor caudal al inicio, siendo sucesivamente reducida cuando el agua se aproxima al final del surco, reduciendo y hasta eliminando las pérdidas por escurrimiento superficial (**Scaloppi, 2011**).

Para mejorar la eficiencia de riego se puede recurrir a la alimentación de los surcos con caudales decrecientes, lo que evita pérdidas de agua al final de los surcos (**Fonseca, 1997**).

Trabajos realizados con riego por surcos utilizando aplicando caudales continuamente reducidos, presentaron ventajas sobre las técnicas convencionales de aplicación continua o intermitente de agua al surco (**Fonseca, 1997**).

La utilización de caudal continuamente reducido posibilita la aplicación de un caudal máximo, que se va reduciendo hasta cero, en el surco de riego (**Kemper & Kincaid, 1982**).

Kemper et al., (1982), obtuvieron resultados de campo demostrando que la infiltración de agua en el suelo fue 25 % mayor, utilizando caudal continuamente reducido, comparado con el régimen de caudal continuo (**Fonseca, 1997**).

En regímenes de aplicación con reducción progresiva de caudal, la pendiente de la tubería con orificios desempeña un papel importante en el esquema operacional. Teniendo pendientes muy reducidos (inferiores a 1 %) se puede ofrecer las siguientes alternativas:

- Apoyarla tubería en estacas instaladas de acuerdo a la pendiente escogida.
- Tapar los orificios que ya irrigan los surcos respectivos para aumentar el caudal de otros durante el proceso de riego. La posibilidad de tapar los orificios que ya fueron regados, sobreponiendo un segmento de tubo al orificio, favorece bastante en la dotación de agua a los surcos (**Scaloppi, 2011**).

Según Kemper et al., (1982), el coeficiente de descarga, es dependiente de la velocidad de escurrimiento en la tubería y de la carga piezométrica.

En un sistema de comando por cabo, las condiciones de escurrimiento en la región próxima al embolo, son de baja velocidad, combinada a una carga piezométrica relativamente elevada.

Trabajando en condiciones de laboratorio Kemper et al., (1982), con innumerables determinaciones propusieron un parámetro adimensional (hr), definido por la relación entre la carga piezométrica (h) y la carga cinemática ($v^2/2g$) disponibles en un determinado punto de la tubería (**Fonseca, 1997**).

$$hr = \frac{h}{v^2/2g} \quad (1)$$

Dónde:

hr = Parámetro adimensional

h = Carga piezométrica

v = Velocidad media de escurrimiento en el tubo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad terrestre, 9.800665 (m/s²)

$$\frac{Cd}{Cdo} = 1 - \frac{0.28}{0.40+hr} \quad (2)$$

Dónde:

Cd = Coeficiente de descarga calculado

Cdo = Coeficiente de descarga observado

El valor de coeficiente de descarga observado normalmente varía entre 0.62 a 0.65, siendo el valor de 0.65 el más relatado (**Fonseca, 1997**).

La ecuación utilizada para el cálculo del coeficiente de descarga considera que el orificio funciona a sección llena. Esta condición, no ocurre en todos los orificios que posibiliten una aplicación caudal máximo hasta cero (Fonseca, 1997).

$$q = 3.478 * Cd * d^2 h^{1/2} \quad (3)$$

Dónde:

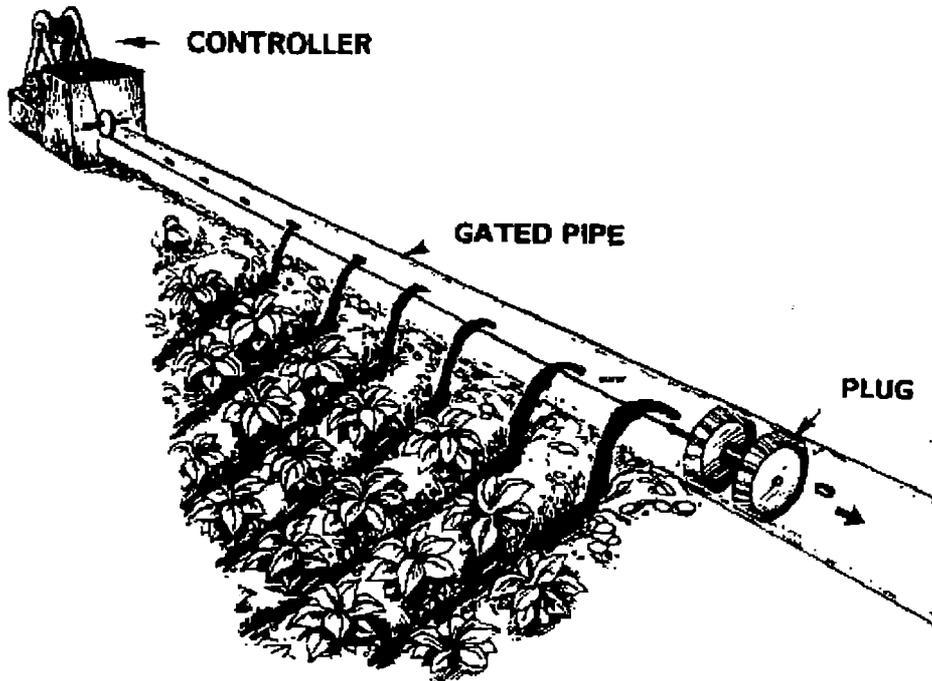
Q = Caudal del orificio (m³/s)

Cd = Coeficiente de descarga

d = Diámetro del orificio (m)

h = Carga piezométrica (m)

Figura 1. Sistema de riego por surcos con CablegationSystem



Fuente. Cablegation evaluation methodology (Trout & Kincaid, 1993)

Hidráulicamente, el émbolo mantenido por el cabo de nylon en determinada posición, constituye un obstáculo al escurrimiento, promoviendo el aumento de la carga piezométrica. Como la tubería está instalada con una pendiente constante, se tendrá una carga hidráulica máxima en el sistema, que debe permanecer constante. Asimismo, la variación de la carga hidráulica en cada orificio, será semejante, excepto en las extremidades de la tubería. A medida que el émbolo se desliza de determinado orificio, la carga y por consiguiente el caudal, va progresivamente decreciendo, hasta tornarse nulas. Por tanto, a cada surco se le aplica caudales decrecientes durante el tiempo de riego deseado (Fonseca, 1997).

4.2.3. Ventajas y limitaciones del sistema de riego por surcos con caudal continuamente reducido

Según Kemper et al. (1982), las principales ventajas y desventajas que posee son:

Ventajas

- Gracias a la pendiente constante de la tubería, no hay necesidad de abrir y cerrar los orificios de salida de agua, lo que permite eliminar casi totalmente la mano de obra.
- Una vez que los caudales son totalmente regulados y los tiempos de avance rigurosamente calculados, las pérdidas de agua al final del surco son reducidas.
- La distribución de agua es optimizada en toda la parcela, mejorándose la eficiencia y uniformidad de aplicación de agua.
- El sistema requiere una baja inversión, pues se limita básicamente a una caja de recepción de agua, un controlador de velocidad de émbolo y una tubería con embolo.
- El sistema mecánico no necesita de energía para bombeamiento y circulación de agua.
- El sistema presenta bajos costos operacionales, en general, revelando gran ahorro de mano de obra.

Limitaciones

- La principal limitación es la exigencia de este sistema a que la tubería deberá ser asentada en la cabecera de campo, aproximadamente en línea recta.
- La tubería deberá ser instalada con una pendiente mínima.

Una vez que el volumen de escurrimiento sea efectivamente controlado, esta técnica puede ser recomendada para minimizar la contaminación de aguas superficiales, especialmente si algún tipo de aplicación química fuera incorporado en el sistema de riego (**Scaloppi, 1995**).

La posibilidad de la automatización total o parcial de las operaciones de riego por surcos es ampliamente reconocida. Esta posibilidad, podría incorporar conceptos más recientes introducidos en el dimensionamiento y operación de estos sistemas, resultando en el mejor desempeño de riego.

La reducción progresiva de los caudales de alimentación de los surcos conlleva a

una mejora de la uniformidad y eficiencia del riego, ya que tal variación de los caudales, acompaña la de la infiltración, que disminuye a lo largo del tiempo. De esta práctica resulta que:

- Las escorrentías por el extremo aguas abajo son significativamente menores cuando los caudales admitidos en los surcos son progresivamente decrecientes, en comparación con la entrada de caudal constante, resultando una disminución de transporte de sedimentos, fertilizantes y productos fitosanitarios. Cuando se usan surcos cerrados, el exceso de aguas abajo es menor con caudales decrecientes que con caudales constantes.
- El tiempo de avance es reducido, ya que el caudal inicial es elevado.
- En consecuencia, es posible obtener una infiltración más uniforme a lo largo del surco, principalmente si se utilizan dispositivos de recorte del caudal de alimentación cuando éste alcanza un valor límite mínimo. Este recorte de alimentación es deseable porque, cuando los caudales son ya muy reducidos, el escurrimiento se produce con velocidad insuficiente, haciendo que el agua, sólo se infiltre en los tramos iniciales del surcos (**Santos et al., 2010**).

4.2.4. Operación del sistema de riego por surcos con caudal continuamente reducido

Para que el sistema brinde los mejores resultados es necesario operarlo de manera eficiente, para ello se necesita calcular y obtener ciertos parámetros propios de este sistema de riego. Mediante diversas metodologías, las cuales se describen en esta sección se pretende mostrar la mayor cantidad de alternativas posibles para lograr el objetivo.

La determinación de este valor está en función de las características físicas del suelo (textura), la longitud de los surcos, el caudal empleado y sobre todo el criterio empleado para proporcionar la lámina necesaria al cultivo (tiempo de riego).

4.2.4.1. Determinación del tiempo de deslizamiento del émbolo

Scaloppi (2010), señala que: en un esquema con reducción progresiva de caudal, el siguiente criterio puede ser sugerido, con adaptaciones para cada condición; deslizar el émbolo cuando:

$$Vr = (100 - 10 \times N - 10) \quad (4)$$

Dónde:

Vr = Volumen requerido para cada uno de los surcos N irrigados (%) hasta el límite de 40 %

N = Número de surcos simultáneamente irrigados

4.2.4.2. Determinación de los tiempos de apertura y cierre (on-off)

Según García (1991), citado por Carbajal (2004), la duración de los ciclos depende de: la rapidez y homogeneidad del agua por los surcos; la uniformidad de infiltración del agua en el suelo; el control de la escorrentía en el último tramo de los surcos y la reducción adecuada de la infiltración y la velocidad con que se produce.

a) Criterios Empíricos

Cuando se desea que el frente de onda alcance el final del surco empleando entre 4 y 6 ciclos y que el tiempo real de suministro de agua por el surco sea la mitad del que se necesita en el riego convencional, se puede utilizar relaciones empíricas para determinar el tiempo de apertura ON, de cada ciclo de avance. (Carbajal, 2004).

Para surcos menores de 400 m se recomienda adoptar:

$$\text{Tiempo ON} = \frac{\text{Tiempo para alcanzar el final del surco con riego continuo}}{8} \quad (5)$$

Para surcos mayores de 400 m se recomienda:

$$\text{Tiempo ON} = \frac{\text{Tiempo para alcanzar el final del surco con riego continuo}}{12} \quad (6)$$

4.2.5. Eficiencia de irrigación por surcos

El exceso de irrigación resultara en pérdidas de agua por percolación o por escurrimiento al final del surco y perdidas de nutrientes por lixiviación para las capas debajo de la zona radicular de los cultivos, también con problemas de afloramiento de la napa freática en áreas debajo de la que está siendo irrigada o en la propia área de irrigación, creando problemas de salinización y causando con eso bajos rendimientos de los cultivos y baja eficiencia de irrigación.

El uso de caudales muy pequeños por surcos aumentara el tiempo para que el agua llegue al final del surco, pudiendo acarrear excesos de infiltración en el inicio y deficiencia de infiltración en el final del surco, causando baja uniformidad de distribución, grandes uniformidad de producción a lo largo de los surcos, resultando en bajas productividades en algunas áreas irrigadas. **(Salassier, B. 1995)**

Gran parte de los objetivos de un proyecto de riego se pueden expresar en términos de eficiencia del uso del agua, para especificar los efectos de las diferentes acciones previstas dentro de tal proyecto, hay que distinguir entre las siguientes eficiencias parciales:

- La eficiencia de conducción (E_c), La eficiencia de conducción se define por la fracción resultante de la relación entre lo que sale de la captación o bocatoma y lo que llega a la cabecera de la chacra (luego de las perdidas en los canales principales y laterales principalmente por fugas y filtraciones.

$$E_c = V_b / V_c \quad (7)$$

Dónde: V_b = volumen de agua captada

V_c = volumen de agua disponible en la cabecera de la chacra

- La eficiencia de distribución (E_d), La eficiencia de distribución se define por la fracción resultante de la relación entre el volumen de agua disponible en la cabecera de la chacra y el volumen realmente aplicado en ella. Sirve para señalar las perdidas como consecuencia de la no utilización del agua, cuando está disponible en la cabecera de la chacra. Cuando termina de regar un agricultor, no siempre está listo el siguiente usuario en el rol de regantes. Especialmente durante la noche, se pierde agua por esta razón.

$$E_d = V_c / V_a \quad (8)$$

Dónde: V_c = volumen de agua disponible en la cabecera de la chacra.

V_a = volumen de agua aplicado a la chacra.

- La eficiencia de aplicación (E_a), La eficiencia de aplicación se define por la fracción resultante de la relación entre el volumen de agua aplicado en la chacra y el efecto moja el suelo para facilitar su preparación para la siembra. Esta eficiencia depende del método de riego, del tipo de suelo, del caudal aplicado y de la aptitud del agricultor para regar en una forma eficiente.

$$E_a = V_a / V_e \quad (9)$$

Dónde: V_a = volumen de agua aplicado en la chacra

V_e = volumen n de agua efectivamente disponible para la planta o necesario para facilitar la preparación de la chacra para la siembra. (Van Der Zel, H. 1989)

4.3. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO POR SURCOS

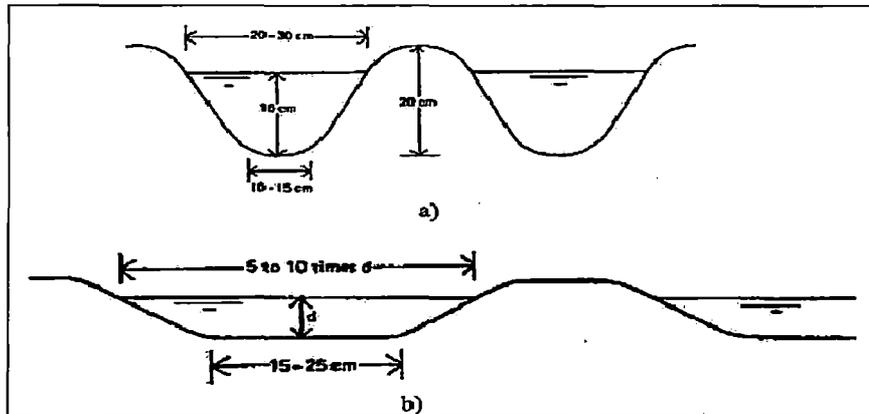
El desempeño de cualquier sistema de riego, depende básicamente de las características de dimensionamiento y operación. Un dimensionamiento adecuado consiste en atribuir valores a los parámetros envueltos, de esa manera obtener un mejor desempeño técnico económico del proyecto, en función de las condiciones existentes. Este procedimiento, debe resultar en la mejor combinación posible de los parámetros envueltos en el dimensionamiento, y las condiciones del suelo, clima, topografía, recursos hídricos, cultivos, y el propio elemento humano (Scaloppi, 2003).

4.3.1. Parámetros de diseño

Sección de los surcos

La sección transversal del surco ha de ser suficientemente amplia para conducir el caudal necesario. La forma más corriente es la sección en "V" abierta, con una altura que varía, sobre todo, con el tipo de cultivo: para cultivos en una sola fila por surco y marco reducido se suele dar una altura de 20 cm, mientras que en cultivos a mayor marco, con una o dos filas de plantas por surco, se puede llegar hasta una altura de 80 cm (Salassier, 1995).

Figura 2. Dimensiones del surco. a) Suelo arenoso, b) Suelo arcilloso



Fuente: *Manual de Irrigación (Salassier, 1995)*

Separación de los surcos

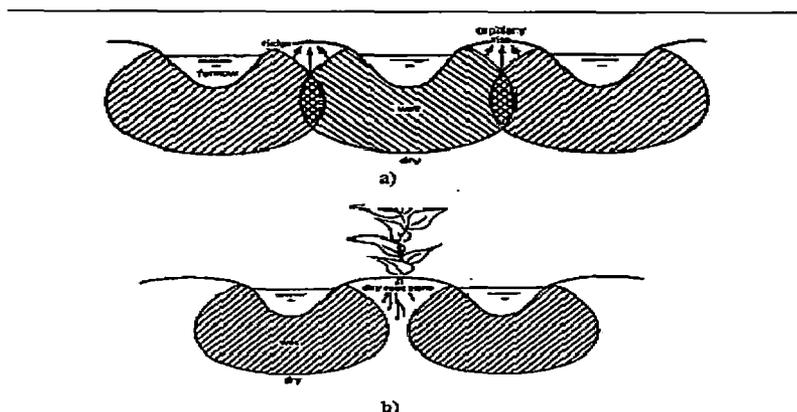
El objetivo principal al determinar la separación de los surcos es asegurar que el movimiento lateral de agua entre dos surcos consecutivos moje la totalidad de la zona radical de la planta, antes de que alcance profundidades superiores a las previstas en el riego y existan pérdidas de agua por percolación profunda. El movimiento horizontal y vertical del agua en el suelo depende, fundamentalmente, de su textura (**Salassier, 1995**).

Si la separación entre surcos es mayor que las recomendaciones establecidas anteriormente no se conseguirá un humedecimiento adecuado como se puede apreciar en la figura siguiente.

GRASSI ha determinado la separación conveniente entre surcos, en función de la profundidad de las raíces del cultivo (D) en suelos franco-limosos (**Pascual, 2008**).

$$W = 1.73 * D \quad (10)$$

Figura 3. Humedecimiento ideal (a) y separación entre surcos excesiva (b)



Fuente: Manual de Irrigación (Salassier, 1995)

Debiendo disminuir este coeficiente en los suelos arenosos, e incrementarse en los arcillosos. No obstante esta separación debe considerarse como máxima, siendo la densidad óptima de plantación lo que determinará la separación entre caballones (y por tanto entre surcos) (Pascual, 2008).

Pendiente de los surcos

Los surcos deben tener pendiente suave y uniforme y ser alimentados por pequeños caudales para que la mayor parte de agua que escurre por ellos se vaya infiltrando uniformemente a lo largo de la parcela (Santos et al., 2010).

La velocidad del agua en el surco está en razón directa con el caudal y con la pendiente, y en razón inversa de la rugosidad del surco.

Al aumentar la pendiente de los surcos aumenta la velocidad del agua y existe más peligro de erosión. Son más erosionables los suelos arenosos que los arcillosos. La pendiente óptima está comprendida entre 0,2 y 0,5 %, pudiendo llegar hasta un máximo del 2 % (Santos et al., 2010).

Longitud de los surcos.

Según Salassier (1995), la longitud de los surcos viene condicionada por los siguientes factores

3. Economía: a medida que disminuye la longitud de los surcos aumentan las necesidades de mano de obra y los costos de la instalación.
4. Textura del suelo: en suelos de textura arenosa hay que limitar la longitud de los surcos, para evitar la larga permanencia del agua en los primeros tramos del surco, con las consiguientes pérdidas por percolación profunda.
5. Cultivo: las plantas de raíces profundas necesitan mayor dosis de riego que las de raíces someras; por tanto, en aquellas se puede aumentar la longitud de los surcos, con el fin de incrementar la permanencia del agua en los mismos.

Caudal de riego

El caudal de cada surco se debe ajustar a la longitud y pendiente del mismo ya la naturaleza del suelo. A mayor caudal corresponde un avance más rápido del agua en el surco. Por lo general, el mayor aprovechamiento del riego se consigue cuando el mojado del surco se hace con el avance más rápido posible, y ello requiere utilizar el máximo caudal que no cause erosión (caudal máximo no erosivo).

La búsqueda de la combinación ideal entre caudal, pendiente y longitud del surco para que en las condiciones dominantes de la tasa de infiltración del suelo, se de tal infiltración máxima y uniforme, hace del proyecto y gestión del riego por surcos una tarea particularmente difícil (**Santos et al., 2010**).

4.3.2. Diseño agronómico

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 condiciones que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivos, parcelación, etc). (**Fuentes, 1998**)

Antes de operar el sistema es importante definir y calcular los valores correspondientes, tanto del caudal a emplear como los requerimientos hídricos, con la finalidad de establecer una frecuencia de riego acorde a las necesidades reales del cultivo y a la disponibilidad del sistema (**Carbajal, 2004**).

4.3.2.1. Caudal máximo no erosivo

El caudal máximo permitido al inicio del riego debe ser aquel que no causará erosión en el surco. Asimismo existe el concepto de caudal máximo no erosivo en función de la pendiente del surco y de la erodabilidad del suelo (**Salassier, 1995**).

Gardner, citado por Salassier(1995), ha estudiado el efecto del caudal y la pendiente en la erosión de surcos de riego; propuso la siguiente ecuación empírica para la determinación del caudal máximo no erosivo.

$$q \text{ max} = \frac{C}{S^a} \quad (11)$$

Dónde:

$q \text{ máx.}$ = Caudal máximo no erosivo en L/s

S = Pendiente del surco en %

C y a = Coeficientes en función del suelo

Cuadro 2. Valores de los coeficientes C y a para diferentes tipos de suelos

TEXTURA	C	A
Muy fina	0.892	0.937
Fina	0.988	0.55
Media	0.613	0.733
Gruesa	0.644	0.704
Muy gruesa	0.665	0.548

Fuente. Manual de irrigacao (Salassier, 1995)

En conjunto y para cada campo, todas estas variables se interrelacionarán dando un valor máximo admisible de caudal (l/s), logrando determinar con que velocidad el agua atravesará todo el campo (**Carbajal, 2004**).

4.3.2.2. Profundidad radicular de los cultivos

La profundidad de las raíces está determinada por una serie de factores tales

como: características genéticas, características del suelo (textura, estructura, presencia de capas impermeables, etc.), nivel de agua en el suelo, nutrientes, oxígeno, etc. Cuando la planta esté bien arraigada y existan buenas condiciones de cultivo, el rendimiento del mismo no queda afectado cuando se reduce por alguna causa el sistema radicular (**Fuentes, 2003**).

Debemos de conocer qué tipo de cultivo vamos a irrigar, ya que según la variedad tiene una determinada profundidad de raíz, y por lo tanto va a necesitar diferentes cantidades de agua (Baca, 2013)

Cuadro 3. Profundidad radicular de algunos cultivos

Cultivos	Profundidad radicular (m)
Alfalfa	1.0 - 2.0
Cebada	1.0 - 1.5
Maíz	1.0 - 1.7
Cebolla	0.3 - 0.5
Lentejas	0.6 - 1.0
Piña	0.3 - 0.6
Papa	0.4 - 0.6
Soya	0.6 - 1.3
Espinaca	0.3 - 0.5
Fresas	0.2 - 0.3
Caña de azúcar	1.2 - 2.0

Fuente. Técnicas de riego (Fuentes, 2003)

4.3.2.3. Lámina de riego

Un riego eficiente debe aportar el agua al cultivo en el momento y en la cantidad que este requiere. Se debe evitar por tantos aportes excesivos que provoquen su despilfarro sin producir ningún beneficio o insuficientes con la consiguiente merma de la producción. Por ello conocer las necesidades de agua de los cultivos es vital (**Castañón, 2000**).

La determinación de la cantidad de agua necesaria para la irrigación es uno de los principales parámetros para el correcto planeamiento, dimensionamiento y

manejo de cualquier sistema de riego, y también para la evaluación de los recursos hídricos (Salassier, 1995).

- **Cálculo de la Lámina neta**

Se debe conocer la cantidad óptima de agua de riego que es necesario aplicar a los campos, considerando las características físicas del suelo principalmente, para ello se puede emplear las siguientes ecuaciones:

- *Lámina neta para riego de machaco*

$$Ln = \left(\frac{CC-PMP}{10} \right) * Da * z \quad (12)$$

- *Lámina neta para riego de mantenimiento*

$$Ln = \left(\frac{CC-PMP}{10} \right) * Da * z * f \quad (13)$$

Donde:

Ln = Lámina neta (mm)

CC = Humedad a Capacidad de Campo (%)

PMP = Humedad a Punto de Marchites Permanente (%)

Da = Densidad Aparente (gr/cm^3)

z = Profundidad efectiva de las raíces (cm)

f = factor de secamiento (adimensional)

- **Consumo diario**

El consumo diario se calcula con la siguiente ecuación:

$$Cd = \frac{ETc}{N^{\circ}díasmes} \quad (14)$$

Dónde:

Cd = Consumo diario promedio

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

- **Cálculo de la Frecuencia de Riego**

Carbajal (2004), señala que es importante conocer también el momento oportuno para iniciar los riegos, uno de los caminos para ello, es el uso de equipos como los tensiómetros, otra alternativa es el empleo de las siguientes ecuaciones:

$$Fr = \frac{Ln}{ETc} \quad (15)$$

$$Fr = \frac{Nd}{Nrg} \quad (16)$$

$$Fr = \frac{Nneta}{Crt} \quad (17)$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

Nd = Numero de días del mes

Nrg = Numero de riegos al mes

$Nneta$ = Necesidad Neta ($m^3/ha/mes$)

Crt = Capacidad de retención de la humedad del suelo (m^3/ha)

- **Número de riego por mes**

$$Nr = \frac{N^{\circ}díasmes}{Fr} \quad (18)$$

Dónde:

Nr = Número de riegos (unid/mes)

Fr = Frecuencia de riego (días)

4.3.3. Diseño de surco

El dimensionamiento de sistemas de riego por superficie puede ser desenvuelto apenas a través de trabajos de campo, o complementados por ensayos de simulación, utilizándose modelos matemáticos, disponibles con diferentes grados de sofisticación, usualmente procesados en microcomputadoras (**Scaloppi, 2003**).

Cisneros (2003), señala los siguientes métodos para dimensionar sistemas de riego por surcos:

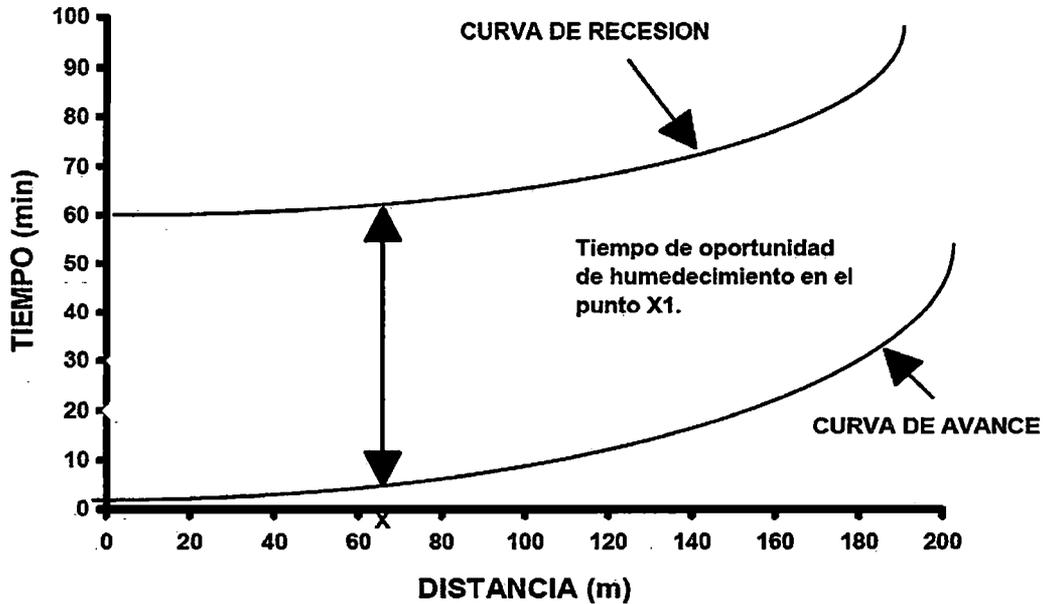
- Ecuaciones empíricas.
- Método con base en tablas y gráficas (más inexacto).
- Método de campo (obteniendo curvas de avance y recesión)

4.3.3.1. Método de campo

La velocidad de avance de agua en los surcos de riego está en función de los siguientes factores: caudal aplicado al surco, capacidad de infiltración del suelo, pendiente, rugosidad y longitud del surco. Por ese motivo, la determinación, en campo, del avance del agua en el surco, debe ser hecha en el área donde se instalará el riego por surcos con condiciones similares a los surcos de riego (**Salassier, 1995**).

- ❖ **Curva de avance:** representa la velocidad de avance del agua en la melga o en el surco; relacionando la distancia del punto de control de avance (estaciones de observación) en campo (X), con el tiempo promedio acumulado (Y); se considera el tiempo de avance en una estación cuando el flujo del agua ha pasado por esta en un 85% (**Cisneros, 2003**).
- ❖ **Curva de recesión:** se presenta una vez que se ha suspendido la aplicación del agua a la parcela; representa el tiempo total en que el agua permanece en cada estación, el cual será cuando se infiltre un 85% del volumen total de agua existente entre cada una de las estaciones de observación(**Cisneros, 2003**).

Gráfico 1. Curvas de avance y recesión



Fuente: Apuntes de la materia de riego y drenaje (Cisneros, 2003).

4.3.3.2. Pruebas de avance

La ecuación que representa la velocidad de avance del agua en el suelo está dada por la ecuación de Criddle-Fok-Davis:

$$T = aL^b \quad (19)$$

Dónde:

T = Tiempo de avance (min)

L = Distancia de avance (m)

a = Coeficiente empírico de la función de avance

b = Exponente empírico de la función de avance

Para completar el cálculo es necesario realizar en el campo la prueba denominada "avances del riego", que tiene la finalidad de ser una auxiliar para determinar las expresiones matemáticas útiles para calcular la longitud más

conveniente del surco en la realización del riego con la que se alcance la más alta eficiencia.

Se obtienen varias curvas de avances que se determinan mediante la aplicación de diferentes gastos de agua a un conjunto de surcos, registrando el tiempo que tarda en avanzar a través de cada uno de ellos al recorrer distintas distancias.

Para tener datos mejores se prueban varios gastos en diferentes surcos, controlando el avance del agua según las distancias y tiempo que tardan en cada uno de ellos.

Se seleccionan de 20 a 30 surcos con los cuales se forman de 4 a 5 grupos, y se colocan en el surco central estacas cada 20 m que serán los puntos de control del avance contra el tiempo.

Los puntos se estacan y se nivelan con el nivel montado para construir un perfil que define la pendiente del terreno y la longitud del surco.

Con los tiempos de las distancias recorridas se forman las curvas para cada uno de los gastos, haciendo uso de los ejes coordenados, donde se presentan en las abscisas las distancias que deben recorrer cada uno de los caudales o gastos derivados en los surcos y en las ordenadas los tiempos empleados por el agua para llegar a alcanzar un punto **(Cisneros, 2003)**.

4.4. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO

La evaluación es una práctica imprescindible para conocer la calidad de los riegos y comprobar si se cumplen o no los objetivos que se pretenden conseguir, es decir, si la cantidad de agua aplicada con el riego es la que necesita el cultivo, si el agua se ha aplicado de manera eficiente, evitando que se pierda y sea aprovechada por las plantas. Finalmente si la aplicación del agua ha sido uniforme y todo el cultivo ha recibido cantidades de agua similares **(Fernández, 2010)**.

Utilizar racionalmente el agua, implica emplearla en actividades agropecuarias que permitan maximizar u optimizar el beneficio a obtener de los recursos invertidos y manejarla apropiadamente, en cuanto a oportunidad del riego, en

cantidad necesaria y suficiente, de manera de reducir al mínimo posible las pérdidas y desperdicios. La calificación del desempeño de un método de riego puede definirse como la observación, documentación e interpretación sistemática de las actividades relacionadas al riego con el objetivo de su continua optimización. El propósito final de la calificación del desempeño es lograr un uso eficiente o racional de los recursos, entregando una retroalimentación para la mejora del manejo del sistema en todos sus niveles. Los ensayos de campo para evaluar los métodos de riego son necesarios para definir cuantitativamente su desempeño, no solamente en relación con las variables físicas del sistema, sino también con relación a su diseño y manejo (**Schilardi, 2010**).

Aunque la evaluación del riego trata de determinar si se han cumplido estos objetivos, con ella también se pueden cuantificar las pérdidas de agua durante el riego, básicamente percolación profunda y escorrentía, a la vista de las cuales se podrán decidir las posibles prácticas o técnicas de mejora para que los riegos sean mejor aplicados, y conseguir así un mejor aprovechamiento del agua y producciones rentables (**Fernández, 2010**).

4.4.1. Parámetros de desempeño

La evaluación del riego se realiza mediante el cálculo de los siguientes parámetros de desempeño:

4.4.1.1. Eficiencia de aplicación (E_a)

Es la relación entre la cantidad de agua que es realmente aprovechada por el cultivo (almacenada en la zona de raíces) y la cantidad total que se ha aplicado con el riego. Cuanta más agua se aplique y menos se almacene en la zona de raíces, menor será la eficiencia de aplicación; por el contrario la eficiencia será mayor (y el riego será más eficiente) si gran parte del agua aplicada es realmente aprovechada por las raíces de las plantas (**Fernández, 2010**).

Es la relación que existe entre el volumen útil de agua almacenado en la zona radicular y el volumen de agua entregado al surco o melga (**Olarte, 2006**).

Representa la proporción de agua aplicada a la parcela, que permanece disponible para la absorción de las plantas cultivadas (**Scaloppi, 2003**).

$$Eap = \frac{Vu}{Va} \times 100 \quad (20)$$

Dónde:

Eap = Eficiencia de aplicación (%)

Vu = Volumen de agua útil o disponible (L; m³)

Va = Volumen de agua aplicado (L; m³)

Carbajal (2004), señala la siguiente ecuación para determinar la eficiencia de aplicación:

$$Eap = \frac{dn}{da} \times 100 \quad (21)$$

Dónde:

Eap = Eficiencia de aplicación (%)

dn = Lámina neta de agua incorporada o almacenada (mm)

dd = Lámina de agua derivada (mm)

Resulta entonces que la Eficiencia de Aplicación varía entre $0 < E_a < 100$.

De otro lado el volumen aplicado es igual a:

$$Va = Qe \times t \quad (21)$$

Donde:

Qe = Es el gasto (caudal de entrada a la parcela)

t = Es el tiempo de riego

El volumen de agua disponible para las plantas es:

$$V_u = V_a - V_p - V_s \quad (22)$$

Donde:

V_p = Es el volumen de agua que infiltra mas allá de la zona radicular, por lo tanto no es aprovechado por el cultivo.

V_s = Es el volumen de agua que sale de la melga o surco como escurrimiento superficial. **(Olarde W. 2006)**

4.5. EL AGUA Y LA ATMOSFERA DEL SUELO

El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal. El agua tiene cuatro funciones fundamentales en las plantas: Es el mayor constituyente del protoplasma (85 a 95%), es esencial para la fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcar, es el solvente en el cual los nutrientes se mueven en y a través de las partes de la planta y provee de turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición apropiada.

La mayor parte del agua absorbida por las plantas se da a nivel de raíces aunque puede también hacerlo a través de las estomas en mínima proporción.

Para un uso óptimo del agua es necesario conocer cómo se encuentra en y a través del suelo, cómo el suelo almacena agua, cómo la planta lo absorbe, cómo se pierden los nutrientes del suelo por percolación y cómo medir el contenido de humedad y pérdidas de agua.

También se menciona, que el agua y la atmósfera forman respectivamente a la fase líquida y la fase gaseosa. La fase líquida está constituida por agua y la solución del suelo.

4.5.1. Fuerzas de retención del agua

El estudio del agua del suelo, bajo el punto de vista agrícola, es muy importante ya que está estrechamente relacionada con la nutrición vegetal. Es por tanto necesario conocer cómo se encuentra retenida en el suelo y como se mueve a través del mismo.

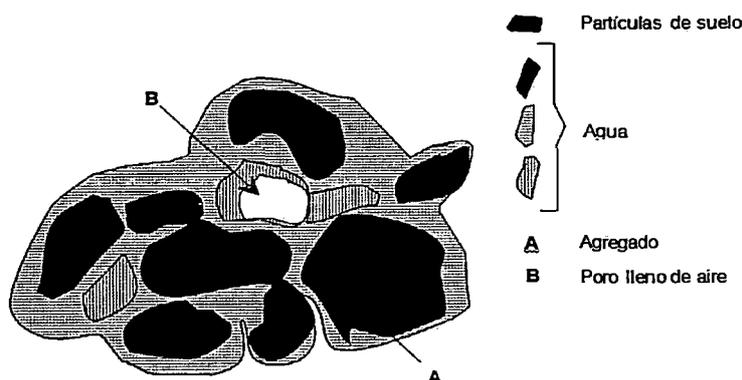
Existen fuerzas de atracción entre los átomos de hidrógeno del agua y los átomos de oxígeno de las superficies minerales del suelo o de otras moléculas de agua, mantienen agua en el suelo en contra de la fuerza de gravedad. Esta atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de minerales se conoce como adhesión; la fuerza de atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de otras moléculas de agua se le llama cohesión. Estas fuerzas combinadas se presentan en gran cantidad, provocando que películas de agua de considerable espesor sean mantenidas en la superficie de las partículas del suelo.

Como las fuerzas que retienen el agua en el suelo son fuerzas de atracción superficial, entre más superficie (más arcilla y materia orgánica) tenga un suelo, mayor es la cantidad retenida de agua.

4.5.2. Clasificación de humedad en el suelo

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

Figura 4. Formas presentes del agua y del aire en el suelo, citado por Cisneros A. Rodolfo, 2003.



En general podemos resumir y englobar en términos de disponibilidad los tipos de agua presentes en el suelo en:

♦ **Agua gravitacional.** Agua que drena por acción de la gravedad; este drenaje es más rápido en suelos arenosos que en los arcillosos. Esta agua sólo está disponible en mínima proporción en la zona de raíces cuando se mantiene una aireación adecuada y/o cuando deja de ser gravitacional para pasar a ser aprovechable.

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

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

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

4.6. MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

4.6.1. Infiltración

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o

cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él.

Se define como el movimiento vertical del agua en la parte superficial del suelo. El agua al entrar en contacto con la superficie del suelo sigue dos caminos, se desliza a través de superficie (escurrimiento) y penetra cruzando la superficie hacia estratos inferiores (infiltración).

La infiltración es el flujo del agua desde la superficie del suelo hacia la zona de raíces en primer lugar y posteriormente hacia capas profundas mientras dura el aporte del agua. Se produce un frente de humedecimiento del terreno que inicialmente avanza con gran velocidad que suele ir disminuyendo con el paso del tiempo. **(Cisneros, R. 2003)**

La infiltración se refiere a la entrada descendente o movimiento del agua a través de la superficie del suelo. Por el contrario, la filtración es el movimiento del agua a través de una columna de suelo, generalmente en condiciones sub-saturadas o casi saturadas. **(Calderón, A. 1992)**

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

1. Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
2. Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
3. Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
4. Profundidad del suelo a una capa endurecida "hardpan", lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
5. Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.

6. Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.

7. Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

Cuadro 5. Clasificación de la magnitud de infiltración.

CLASIFICACION	MAGNITUD (cm/hr)	CARACTERISTICAS
MUY LENTA	< 0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
LENTA	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
MEDIA	1.75 - 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos.
RAPIDA	> 2.50	Suelos arenosos migajones limosos profundos y de buena agregación.

Fuente. Apuntes de riego y drenaje. Cisneros A. Rodolfo, 2003.

4.6.1.1. Medición de la infiltración

La determinación de la infiltración puede efectuarse en el campo, o siguiendo algunos de los métodos de laboratorio sobre muestras alteradas y/o inalteradas.

Dentro de los métodos de campo existentes, uno de los más comunes por su facilidad es el método del infiltrómetro de doble cilindro. Otro método es el método de entradas y salidas (en surcos).

- Método de entradas y salidas (en surcos)

El método consiste en hacer en el terreno, un surco, de preferencia de las mismas dimensiones y dirección que normalmente se realizan en ese terreno, se selecciona un tramo (50 a 100 m), se coloca una estructura aforadora pequeña al final del surco, se aplica un gasto constante a la entrada del surco (1 a 3 lps), mediante sifones calibrados. **(Cisneros, R. 2003)**

4.6.1.2. Infiltración acumulada

Es importante señalar que con cualquiera de los dos métodos sea el del infiltrómetro de doble cilindro o el de entradas y salidas, puede obtenerse la ecuación de infiltración acumulada que se deriva de la integración de la ecuación de Kostiakov-Lewis entre los límites de $t=0$ y $t=t$.

$$Z = \int_0^t I dt = \int_0^t k t^n = \frac{k t^{n+1}}{n+1} \quad (23)$$

La ecuación tendrá la misma forma que el siguiente modelo:

$$Z = \frac{k}{(n+1)60} t^{n+1} \quad (24)$$

Dónde:

Z = infiltración acumulada (cm)

k y n = coeficientes de la fórmula de Kostiakov-Lewis

El valor de 60 dado en la fórmula es un factor para expresar Z en cm y t en min.

4.6.2. Percolación

Según Ortiz y Ortiz (1988), al movimiento del agua a través de una columna de suelo se llama percolación. Ellos mencionan que los estudios de percolación son importantes por dos razones. Las aguas que percolan son la única fuente del agua de manantiales y pozos. Las aguas percolantes arrastran nutrientes de las plantas que se sitúan fuera del alcance de las raíces.

Las pérdidas por lavado son proporcionales a las cantidades de agua que pasan a través del suelo. Los nutrientes de las plantas se pierden en cantidades mayores cuando ningún cultivo en desarrollo absorbe los nutrientes. Se ha estimado que la proporción relativa de la pérdida de nutrientes del suelo por efecto del lavado se da en el siguiente orden:

Ca → Mg → S → K → N → P

Esta pérdida se efectúa sin considerar el uso y manejo que se le proporcione al

suelo. Es obvio que utilizando prácticas agrícolas de conservación, habrá una mayor retención de agua y nutrientes.(Cisneros, R. 2003)

4.7. MÉTODOS PARA MEDIR CAUDALES

Existen diversos métodos para determinar el caudal de una corriente de agua, cada uno aplicable a diversas condiciones, según el tamaño de una corriente o según la precisión con que se requieran los valores obtenidos. Los métodos más utilizados son:

- a. Método sección velocidad
- b. Método volumétrico
- c. Método con correntómetros o molinetes
- d. Método con medidas de la sección y la pendiente.

4.7.1. Método Volumétrico

Este método consiste en hacer llegar la corriente, a un depósito o recipiente de volumen (V) conocido, y medir el tiempo (T) que tarda en llenar dicho depósito.

Para calcular el caudal, hacer:

- Calcular o medir el volumen de depósito o recipiente (V)
- Con un cronometro medir el tiempo (T), requerido para llenar el depósito.
- Calcular el caudal con la ecuación:

$$Q = \frac{V}{T} \quad (25)$$

Dónde:

Q = caudal, en l/s ó m³/s

V = volumen del depósito, en l ó m³

T = tiempo en que se llena el depósito, en segundos.

(Olarde, W. 1987)

4.7.2. Aforador RBC

El Aforador RBC, fue desarrollado por Replogle, Bos y Clemmens (1984),

constituye una de las mejores estructuras portátiles para la medición de caudales. Basa su funcionamiento en la creación de condiciones para provocar un régimen de flujo crítico (**Baca, 2013**).

Los pasos para su utilización son:

- Limpiar la solera del canal y regularizar las paredes del mismo aguas arriba del aforador (al menos 2 m de distancia), en caso de ser necesario.
- Hincar el aforador con combo hasta que la base del aforador quede al mismo nivel que la solera del canal, esto evitará turbulencias que dificulten la lectura del caudal en la regla (limnómetro).
- Se debe tener cuidado al hincar el aforador para no dañarlo, los golpes deben ser localizados en los puntos indicados en la siguiente foto. Si se tiene dificultad en el hincado es preferible quitar el aforador y acondicionar nuevamente el sitio de aforo o finalmente buscar otro sitio más conveniente.
- El aforador tiene que estar bien nivelado, tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal, para ello se requiere usar nivel de albañil.
- Impermeabilizar cuidadosamente los laterales entre el aforador y las paredes del canal para evitar filtraciones, para este fin se emplea la misma tierra y hierbas del lugar, algunas veces será necesario usar plástico, por lo general no es necesario impermeabilizar el fondo.

Según Baca (2013), una vez instalado el aforador:

- a. Esperar un tiempo para que el flujo se estabilice, generalmente 15 a 30 minutos.
- b. Verificar visualmente que la descarga del aforador se produzca en forma libre, observando que el tirante aguas abajo nunca sobrepase al tirante aguas arriba (por seguridad un 50%). Caso, contrario es recomendable buscar un sitio más adecuado.
- c. Tomar los datos de caudal según las lecturas obtenidas en la regla del aforador (limnómetro) y el tiempo correspondiente a cada lectura realizada del caudal

Para la medición de caudales también se utilizan algunas estructuras

especialmente construidas, llamadas medidores o aforadores, cuyos diseños se basan en los principios hidráulicos de orificios, vertederos y secciones críticas(PSI, 2005).

4.8. ESTUDIO DEL SUELO

El suelo es un cuerpo tridimensional, natural e independiente, y sustento de las plantas o vida Vegetal.

Desde el punto de vista edafológico “el suelo puede ser definido como un cuerpo natural, sintetizado en su perfil a partir de una mezcla variable de minerales desmenuzados y modificados atmosféricamente, junto con la materia orgánica en desintegración, que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona, cuando contiene cantidades adecuadas de aire y agua, el soporte mecánico y en parte el sustento de las plantas”. (Calderón, A. 1992)

Desde el punto de vista agua-suelo-planta, es decir, desde el punto de vista de riego, se puede conceptualizar al suelo como un medio natural poroso que sirve para almacenar cierta cantidad de agua que luego será extraída por las plantas para satisfacer sus demandas ocasionadas como consecuencia de la producción de cosechas. (Olarte, W. 2002)

El suelo es un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa superficial, relativamente delgada, de material más o menos disperso que se encuentra sobre la litosfera. (Narro F. Eduardo, 1994)

El suelo es el material mineral no consolidado sobre la superficie de la tierra; que ha estado sujeto e influenciado por factores genéticos y del medio ambiente como son el material madre, clima, incluyendo efectos de humedad, temperatura, los macro y microorganismos y la topografía, todos ellos actuando en un período de tiempo y originando un producto, el suelo, que difiere del material de donde se deriva en muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas. (U.S.D.A.)

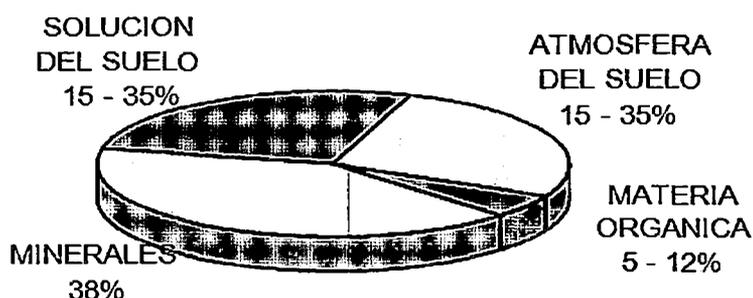
Según Ortiz y Ortiz (1988), el contenido de materia orgánica del suelo se relaciona con la vegetación nativa, pero si la vegetación es constante, la acumulación es

regulada por las condiciones climáticas.

En cuanto a los minerales, estas son sustancias inorgánicas que tienen composición química y propiedades físicas definidas. En el suelo existen partículas secundarias o agregados. Los minerales, son partículas unitarias y se clasifican en arcillas, limos y arenas. Las partículas secundarias o agregados están formadas por la unión de las partículas primarias, por medio de cementantes.

En la siguiente figura pueden apreciarse los diferentes componentes de un suelo en relación a su volumen:

Figura 5. Composición aproximada de un suelo



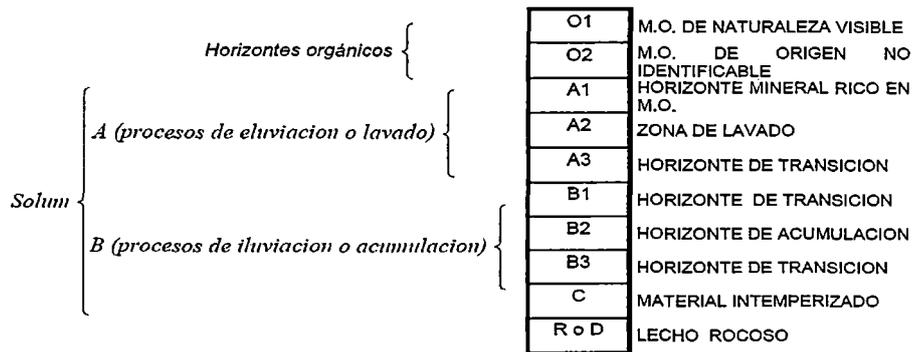
4.8.1. Perfil del suelo

Una sección vertical a través de un corte de suelo hacia abajo, donde podríamos encontrar las capas horizontales se llama "Perfil" del suelo, y las diferentes capas individuales son llamados "Horizontes".

Un perfil incluye un horizonte orgánico denominado horizonte O, y tres horizontes llamados A, B, C. **(Calderón, A. 1992)**

El estudio de los suelos se hace a través de pozos de observación donde se describe una de sus caras (PERFIL) con todas sus capas (HORIZONTES), es decir la variación vertical en cantidad de arcilla, textura, color, cantidad de materia orgánica, cantidad y tipos de sales, existentes en ese suelo, a éste estudio se le conoce como Morfología de Suelos.

Figura 6. Perfil del suelo citado por Cisneros A. Rodolfo.



4.8.2. Características físicas del suelo

El suelo como un medio poroso, es un sistema compuesto por tres componentes básicos: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. Estas fases del suelo proporcionan a los cultivos los nutrientes, además de agua para el desarrollo de los procesos fisiológicos y el oxígeno necesario para la respiración de las raíces.

4.8.2.1. Textura del suelo

Se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla que contiene un suelo, según el predominio de cada uno de ellos se les denomina suelos arenosos, limosos o arcillosos, cuando un suelo presenta proporciones equivalentes entre estos tres tipos de partículas se denomina suelos francos.

Para conocer estos porcentajes, se realiza el análisis granulométrico que da las fracciones de arena, limo y arcilla en peso; luego se define según el triángulo de texturas propuesto por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 1964) que está dividido en 12 áreas, que corresponden a igual número de clases texturales. (Olarte, W. 2002)

Está relacionada con el tamaño de las partículas minerales y específicamente se refiere a los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. (Calderón, A.1992)

La textura del suelo es un indicador de la proporción relativa de arena, limo y arcilla que lo constituyen, y su nombre indica la clase textural a la que pertenece, de acuerdo con el sistema de clasificación y de triángulo de texturas utilizadas. (Narro, E. 1994)

Cuadro 6. La textura y su variación en diámetro.

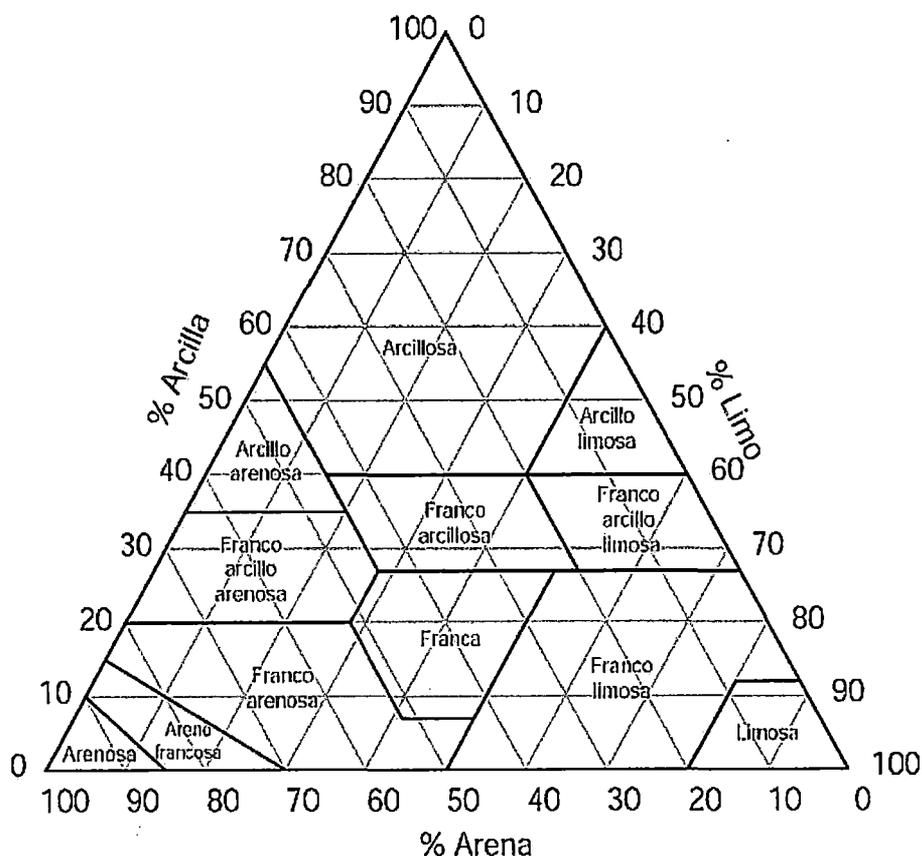
FRACCIONES	LÍMITES DE LOS DIÁMETROS (mm)	
	SISTEMA USDA	SISTEMA INTERNACIONAL (Atterberg)
ARENA MUY GRUESA	2.0-1.0	
ARENA GRUESA	1.0-0.5	2.0-0.20
ARENA MEDIA	0.5-0.25	
ARENA FINA	0.25-0.10	0.20-0.02
ARENA MUY FINA	0.10-0.05	
LIMO	0.05-0.002	0.02-0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002

Fuente: Narro F. Eduardo, 1994.

Rara vez una muestra de suelo estará constituida totalmente por una sola fracción. Por ello, las clases de textura están basadas sobre distintas combinaciones de arena, limo y arcilla.

La textura del suelo y las posibles combinaciones de ellas se representan gráficamente en el triángulo de las texturas como el que se muestra enseguida:

Figura 7. Triángulo textural citado por Carzas G. Venancio



Estructura del suelo

La estructura se refiere forma como se unen y ordenan las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), y determina en gran parte la facilidad para trabajar los terrenos, la permeabilidad de esto al agua y resistencia a la erosión, lo mismo que las condiciones que ofrecen para el crecimiento de las raíces de las plantas. Los suelos con mala estructura son siempre de baja productividad.

La estructura se estudia y se describe de acuerdo a tres categorías:

- **Tipo:** se refiere al aspecto o forma y patrón de disposición de los agregados.
- **Clase:** se refiere al tamaño de los agregados.
- **Categoría:** se refiere al grado de distinción de los agregados. **(Calderón, A. 1992)**

Desde el punto de vista morfológico, la estructura del suelo se ha definido como la disposición o arreglo de las partículas primarias: arena, arcilla y limo, para formar otras unidades de mayor tamaño llamado agregados. La estructura del suelo se puede modificar mas no así la textura. La estructura del suelo puede ser: laminar, prismática, columnar, angular, sub-angular o granular. **(Olarde, W. 2002)**

Efecto de la estructura sobre la infiltración

Los suelos granulares (esferoidal) y los de grano simple (sin estructura) tienen una rápida infiltración, los bloques y los prismáticos tienen velocidades moderadas y suelos laminares y masivos tienen baja velocidad de infiltración. **(Cisneros, R. 2003)**

Cuadro 7. Efecto de la estructura sobre la infiltración

Tipo de estructura	Velocidad
Granular	Rápida
Migajosa	Rápida
Laminar	Lenta
Bloques angulares	Lenta
Bloques Subangulares	Moderada
Prismática	Moderada
Columnar	Moderada

Fuente. Apuntes de riego y drenaje. Cisneros A. Rodolfo, 2003.

4.8.2.2. Densidad aparente

La densidad de masa, de volumen o aparente se define como la masa(o peso) de una unidad de volumen del suelo seco, expresado en gr/cc. El volumen incluye tanto los sólidos como los poros del suelo. **(Calderón, A. 1992)**

Se llama así a la relación que existe entre la masa de un suelo seco y su volumen en condiciones naturales. Es decir, el peso del suelo seco por unidad de volumen total (conteniendo todo sus poros).

La densidad aparente viene dado por:

$$D_{ap} = \frac{P_{ss}}{V_s} \quad (26)$$

Dónde:

D_{ap} . = Densidad aparente (gr/cm³)

P_{ss} . = Peso del suelo seco a estufa a 105 °C

V_t . = Volumen total (cm³) **(Olarte, W. 2002)**

4.8.2.3. Densidad real o densidad de partículas

La densidad real corresponde a la densidad media de la fase solida o densidad de las partículas. Para un horizonte dado, será prácticamente constante a lo largo del tiempo al ser independientemente de la estructura y variar poco la naturaleza de las partículas. **(Porta, J.2003)**

Es la relación que existe entre la masa de un suelo seco por unidad de volumen real de sus partículas, expresado en gramos por cm³ y viene dado por la relación:

$$D_r = \frac{P_{ss}}{V_s} \quad (27)$$

El tamaño así como el arreglo de las partículas del suelo, no afectan la densidad de real; sin embargo, la materia orgánica que pasa mucho menos que las partículas sólidas minerales influye en ella. Por tanto, en los suelos minerales la densidad real es casi constante y varía entre 2.60 a 2.75 gr/cm³ **(Olarte, W. 2002)**

4.8.2.4. Porosidad

El espacio de huecos resulta de la agregación de las partículas minerales individuales con participación de la materia orgánica. La porosidad puede describirse a nivel global, atendiendo a los huecos de un horizonte en su conjunto, o bien en un agregado. La descripción detallada incluye cantidad, continuidad, orientación, distribución y forma. (Porta, J.2003)

Es el volumen del suelo ocupado por los espacios vacíos o poros. Es decir, es la porción del suelo no ocupada por las partículas sólidas. La porosidad se expresa a través de la relación siguiente.

$$(\%)P = 100 \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) P = \frac{Pt - Vs}{Vt} \quad (28)$$

Indudablemente, para calcular el espacio poroso de los suelos es necesario conocer la densidad real y la densidad aparente del suelo. (Olarte, W. 2002)

4.9. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

4.9.1. Clima

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

Elementos del clima y del tiempo

- Temperatura
- Precipitación
- Evaporación
- Humedad relativa
- Viento
- Radiación solar
- Presión atmosférica
- Nubosidad
- Otros fenómenos (eléctricos, ópticos, acústicos, etc.).

➤ **Evapotranspiración**

Proceso combinado de evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración resulta ser el proceso inverso a la precipitación pluvial, se mide en mm/día.

➤ **Evaporación**

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

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

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

En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración. **(Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006).**

Es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor mediante un proceso específicamente físico.

La velocidad de evaporación es función del estado de la atmósfera en las vecindades de la superficie así como del estado de esa superficie evaporante (agua, nieve, hielo)

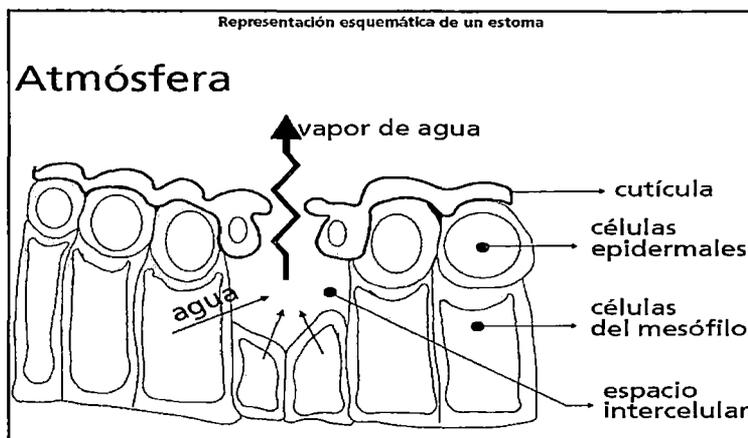
La evaporación está en función de muchos factores y sobretodo de:

- Déficit higrométrico o de saturación
- La temperatura del aire
- La insolación
- La velocidad y turbulencia del viento
- La presión barométrica

- La calidad de agua (**Ladrón de Guevara, O. 2005**)
- **Transpiración**

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

Figura 8. Representación de una estoma.



Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo,

sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración.

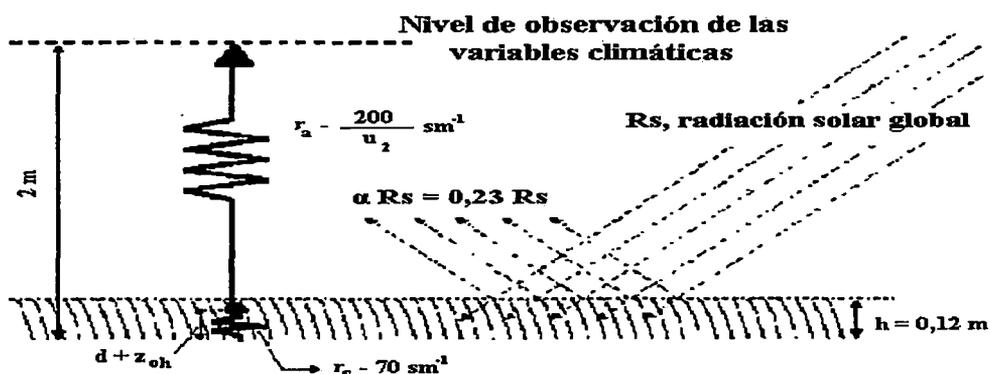
Es la pérdida de agua liberada hacia la atmosfera a través de las estomas de las plantas.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c aj}). ET_o es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. ET_c se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. ET_c requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo. (Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006)

➤ **Evapotranspiración de referencia (ET_o)**

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

Gráfico 2. Nivel de observación de variables climáticas



Fuente: Allen et al. (1998) citado por Santos et al. (2010)

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

➤ **Evapotranspiración del cultivo (ET_c)**

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

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

4.9.2. Determinación de la evapotranspiración

4.9.2.1. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

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

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

La evaporación de una superficie libre de agua, proporciona un índice del efecto integrado de la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y del viento en la evapotranspiración. Sin embargo, diferencias entre la superficie de agua y las superficies cultivadas producen diferencias significativas entre la pérdida de agua de una superficie libre de agua y una superficie cultivada. El tanque ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ET_o (FAO, 2006).

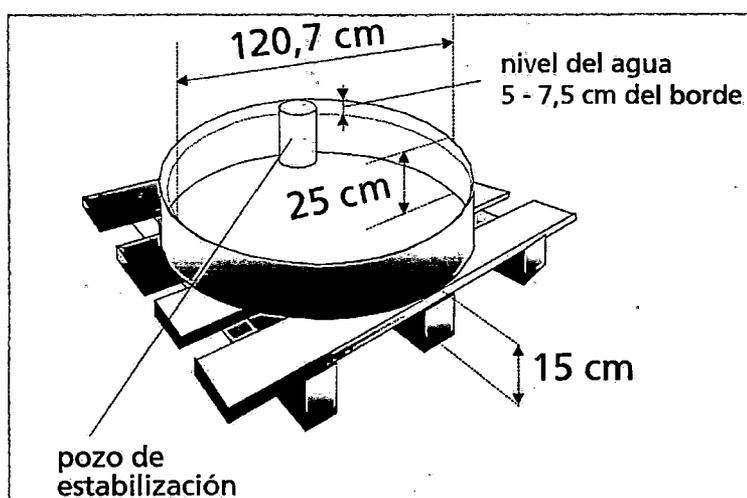
4.9.3. Método para medir la evapotranspiración de referencia.

- **Tanque evaporímetro de clase A**

Se trata de un recipiente cilíndrico fabricado a base de una plancha galvanizada, de 1,21 m de diámetro y 25,4 cm de alto, que se coloca a unos centímetros sobre el suelo utilizando una plataforma, generalmente de madera. El agua de la cubeta debe mantenerse a 5-7 cm del borde. La evaporación debe calcularse diariamente por diferencia entre dos lecturas consecutivas del Vernier (como se muestra en la imagen, lo que permite determinar el nivel de agua en el tanque). Es recomendable realizar dichas lecturas a primera hora de la mañana y a la misma hora.

La cantidad de agua que debe regarse, está en base a los cálculos atmosféricos que debemos realizar, para ello podemos recurrir al uso de un

Figura 9. Tanque Clase A



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

Instrumento que es el Tanque Clase A, que está siendo muy usado en condiciones de campo y que nos ayuda a ver cuánto ha sido la evaporación diaria en mm. Y poder calcular cuánto de agua tengo que irrigar. (Baca, C. 2010)

La ETo se calcula por la fórmula:

$$ET_o = E_v * K_p \quad (29)$$

Dónde:

E_{To} = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

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

K_p = Coeficiente del tanque

Tabla 1. Coeficientes K_p del Tanque Clase A (suelo con vegetación)

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

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

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

Tabla 2. Coeficientes K_p del Tanque Clase A (suelo desnudo)

EL COEFICIENTE DEL TANQUE K_{tan} (Caso 2)

Distancia a Barlovento D (m)	Velocidad del viento		Humedad Relativa Media		
	(Km/día)	(m/s)	<40 %	40 – 70 %	> 70 %
0	< 175	< 2	0.70	0.80	0.85
	175 – 425	2 – 5	0.65	0.75	0.80
a	425 – 700	5 – 8	0.60	0.65	0.70
	>700	>8	0.50	0.60	0.65
10	< 175	< 2	0.60	0.70	0.80
	175 – 425	2 – 5	0.55	0.65	0.70
a	425 – 700	5 – 8	0.50	0.55	0.65
	>700	>8	0.45	0.50	0.55

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

4.9.3.1. Determinación de la evapotranspiración de cultivo (ETc)

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

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (30)$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm/día).

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c = Coeficiente de cultivo

4.9.3.2. Coeficiente de cultivo (Kc)

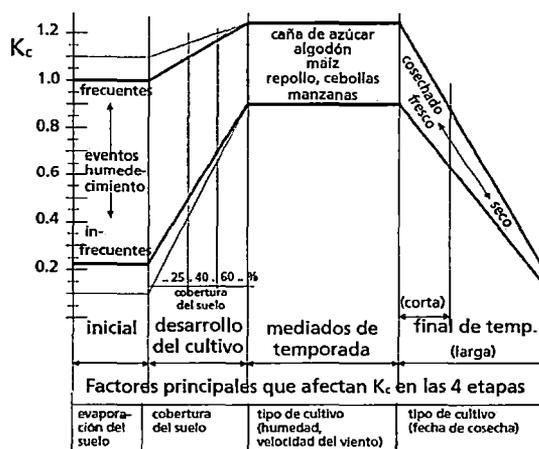
El valor del coeficiente del cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo durante su periodo vegetativo. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo.

Según Fuentes (2003), en los cultivos anuales hay que distinguir cuatro etapas en su periodo vegetativo:

- *Primera etapa: etapa inicial* o de establecimiento del cultivo. Abarca desde la siembra o plantación hasta que el cultivo queda plenamente establecido: cubre o sombrea un 10 % de la superficie del suelo, suponiendo que los rayos del sol incidan perpendicularmente.
- *Segunda etapa: etapa de desarrollo del cultivo* o de rápido desarrollo del cultivo. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre o sombrea de forma efectiva la superficie del suelo (menos del 70% - 80% de ésta).
- *Tercera etapa: etapa de mediados del periodo* o de máxima evapotranspiración. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta la iniciación de la maduración del cultivo, que se manifiesta por el envejecimiento del follaje.

- *Cuarta etapa: etapa final* o de maduración y cosecha. Abarca desde el final de la etapa anterior (que se manifiesta por una marcada disminución en el consumo de agua) hasta la maduración del cultivo o su cosecha.

Figura 10. Rangos típicos esperados del valor de K_c para las cuatro etapas de crecimiento



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

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial (K_c ini), la etapa de mediados de temporada (K_c med) y la etapa final (K_c fin) (FAO, 2006).

Cuadro 8. Coeficientes del cultivo de papa (K_c), para sus cuatro estadios

CULTIVO	B	C	D	E
PAPA	0.8	1.1	1.20	0.7

Fuente: Manual técnico de riego presurizado 2013

4.9.4. Humedad relativa

La humedad atmosférica se expresa en función de un parámetro denominado humedad relativa (HR). El cociente porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire, a una determinada temperatura y la cantidad máxima de vapor de agua que el aire podría contener a la misma temperatura, (se denomina fracción de saturación)

$$HR = \frac{HA}{HS} \times 100 \quad (31)$$

Dónde:

HA: Humedad absoluta; cantidad (gr) de vapor de agua contenida en 1m³

HS: Humedad de saturación; es la mayor cantidad de vapor de agua que admite 1m³ de aire a una determinada temperatura.

Existe una variación de la humedad en el transcurso del día y del año, a medida que se aumenta la temperatura, aumenta también la capacidad del aire para contener vapor, por esa razón en las horas de mayor temperatura del día o en los meses más cálidos cuando la evaporación es más intensa la cantidad de vapor y su tensión son mayores en comparación con las horas de la noche o de los meses invernales.

Las variaciones de la humedad en el transcurso del día generalmente son pequeñas en cuanto que la variación anual es notoria en algunas regiones continentales.

4.9.5. Viento

El viento, es el aire, con una determinada dirección y velocidad, que generalmente es aproximada a la horizontal; (advección) se desarrollan como resultado del calentamiento desigual de la tierra y el mar.

4.9.5.1. Velocidad del viento

Es la distancia recorrida por una masa de aire en una unidad de tiempo, la velocidad del viento varía con la distancia sobre el nivel del suelo, siendo esta variación particularmente más rápida cerca de la superficie, cuando la velocidad es

menor a 1m/s se denomina calma y cuando es mayor toma diferentes nombres, como ventolina, viento, etc.(**Ladrón de Guevara, O. 2005**)

4.9.6. Precipitación

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

4.10. SISTEMATIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SUELO PARA RIEGO

La sistematización de superficie puede ser definida como un conjunto de operaciones de movimiento de tierra desenvueltas en la superficie del suelo, con la finalidad de uniformizar la pendiente en una o en todas las direcciones. La condición uniforme de la pendiente, presupone la ausencia de irregularidades (elevaciones o depresiones) en la superficie del suelo, favoreciendo el escurrimiento de aguas provenientes de lluvias o riego, mejorando el desempeño de los sistemas de riego y drenaje superficiales. Superficies sistematizadas que presentan pendientes no nulas favorecen el escurrimiento y no deben admitir la acumulación de agua superficial proveniente del exceso de lluvia o riego (**Scaloppi, 2003**).

La sistematización de los suelos es una práctica que facilita una entrega más uniforme del agua de riego. "Sistematizar" un terreno es ajustar la superficie del mismo a la de un plano proyecto, cuya inclinación responda a las pendientes naturales o a las establecidas por el diseñador, de modo de lograr el menor movimiento de tierra (**Rosatto et al., 2009**).

El procedimiento que requiere el movimiento de tierras generalmente mecanizadas, que con una operación final de acabado, reciben la denominación general de sistematización (**Scaloppi, 2003**).

La sistematización del suelo mejora la conservación del agua en las tierras de secano. Sin embargo, los movimientos de suelo producen a menudo una mezcla de horizontes edáficos respecto de la estratificación original y pueden causar condiciones superficiales desfavorables después del movimiento realizado, dependiendo ello de la naturaleza de los mencionados horizontes sub-

superficiales. En un estudio llevado a cabo por Unger et al. se verificó que la sistematización afectó perceptiblemente la arena del suelo, el limo, la arcilla y el contenido de materia orgánica así como la estabilidad de los agregados, pero los cambios fueron relativamente pequeños. Por lo tanto, los autores mencionados recomendaron la sistematización de suelos para mejorar la productividad de los cultivos en suelos de secano.

En la sistematización nunca debe realizarse un movimiento de suelos sin conocer primero las condiciones del perfil y el máximo corte que puede ser realizado.

Los factores de importancia que deben ser tenidos en cuenta en el movimiento de suelos son el clima, la topografía, el tipo de suelo, el césped y el agua, los cuales deben combinarse adecuadamente para la consecución de un buen resultado **(Rosatto et al., 2009)**.

La mayoría de veces, los métodos de cálculo adoptados conducen a la obtención de un plano, denominado plano de sistematización, al cual toda la superficie será ajustada, proporcionando gradientes de declive uniformes, pudiendo ser nulos, en todas las direcciones.

A no ser que se desee, difícilmente el plano resultante de las operaciones de sistematización estará perfectamente en nivel, o sea presentando gradientes de declive nulos en todas las direcciones. Por esta razón, parece inadecuado utilizar el término de “nivelación” para designar esta operación **(Scaloppi, 2003)**.

Ventajas y desventajas de la sistematización

a) Ventajas

- ❖ La existencia de una superficie sistematizada puede constituirse en un eficiente sistema de drenaje superficial, eliminando serios inconvenientes de acumulación de agua en la superficie del suelo.
- ❖ Todas las operaciones agrícolas mecanizadas serán beneficiadas.
- ❖ Mejor desempeño operacional, mayor durabilidad y menores costos de mantención de equipos.

b) Desventajas

- Presenta costos relativamente altos.
- Exigencia de personal, maquinas y equipos especializados.
- Puede causar perjuicios a la fertilidad natural de los suelos agrícolas.
- Problemas de compactación de suelos causados por el tráfico excesivo de las maquinarias, generalmente en épocas de mayor contenido de agua en el suelo (**Scaloppi, 2003**).

4.10.1. Trabajos preliminares

Como cualquier obra de ingeniería, la sistematización requiere procedimientos con criterios, en todas las fases del proceso, para asegurar un aceptable desempeño operacional (**Scaloppi, 2003**).

Reconocimiento del área

Antes de iniciar la sistematización de un terreno, se debe examinar éste, para ver si tiene condiciones de ser irrigado por superficie (**Salassier, 1995**).

La principal finalidad del reconocimiento del área, a través de la inspección, consiste en establecer la viabilidad técnica de las operaciones, en función de los objetivos deseados de la sistematización (**Scaloppi, 2003**).

Scaloppi (2003) señala algunas observaciones que deben ser particularmente realizadas durante el reconocimiento de área como:

- Condiciones topográficas predominantes, uniformidad de gradiente en dirección del declive. No se debe olvidar que la sistematización es una práctica requerida para asegurar un mejor desempeño de sistemas de riego por superficie. Por lo tanto deben ser observados los límites de gradientes de declive aplicables a los sistemas de riego.
- Dimensiones y formas de las áreas. Grandes dimensiones y formas regulares favorecen los trabajos de campo.
- Naturaleza y densidad de la cobertura vegetal. La cobertura vegetal tolerada en trabajos de sistematización es típicamente la rastrera, sin la presencia de vegetación arbustiva o arbórea, que cuando se presenta debe ser eliminada del

área a ser sistematizada.

- Posibilidad de inundación y condiciones de drenaje superficial.
- Existencia de afloramientos rocosos u otros obstáculos naturales o artificiales en la superficie, que puedan perjudicar el desenvolvimiento de los trabajos.
- Estado de conservación del suelo, formas y grados de evolución de procesos erosivos.
- Accidentes topográficos localizados, como construcciones civiles, líneas de transmisión eléctrica o telefónica, cercos, etc, limitan las dimensiones de las áreas sistematizadas y el desenvolvimiento adecuado de los trabajos de campo.

Caracterización de suelos

Salassier (1995) menciona que principalmente deben ser evaluar los siguientes aspectos:

- a) Profundidad de los horizontes que soportan el desenvolvimiento vegetal.
- b) Secuencia de horizontes en los perfiles representativos de suelos.
- c) Identificación de problemas de impedimento para drenaje superficial.
- d) Evidencia de ocurrencia de problemas de drenaje subterráneo.
- e) Suelos excesivamente permeables.
- f) Inestabilidad del suelo.

Época a ser realizada la sistematización

Es antieconómico y perjudicial al suelo realizar movimiento de tierra en época lluviosa. Asimismo la sistematización de un terreno debe ser planeada para la época seca y solamente para un área capaz de ser sistematizada en periodo seco (**Salassier, 1995**).

La época más favorable para proceder las operaciones de sistematización, debe coincidir con el periodo de menor ocurrencia de lluvias. El rendimiento operacional de las maquinas e equipos, y la calidad de los servicios son muy perjudicados en estación lluviosa. Además de eso, habrá mayor posibilidad de compactación excesiva del suelo, causada por el tráfico de máquinas y equipos pesados. El aumento del contenido de agua en el suelo, hasta cierto límite favorece el proceso

de compactación (**Scaloppi, 2003**).

Preparación de la superficie a ser sistematizada (pre-sistematización)

Antes de iniciar el levantamiento topográfico en trabajos de sistematización, la superficie debe estar libre de vegetación arbórea o arbustiva, piedras, o cualquier otro material que pueda perjudicar el desenvolvimiento de los trabajos de campo.

Con el objetivo de aumentar la representatividad de las lecturas de cotas, en función del estaqueamiento a ser procedido en el área a ser sistematizada, se recomienda eliminar accidentes topográficos localizados, como elevaciones y depresiones muy particulares (**Scaloppi, 2003**).

4.10.2. Levantamiento topográfico

Se debe observar que el levantamiento planimétrico acaba siendo, un trabajo después del estaqueamiento para las determinaciones altimétricas (**Scaloppi, 2003**).

Algunos detalles del levantamiento altimétrico fueron convencionales como práctica universal, las cuales son:

4.10.3. División de área

La principal finalidad de dividir una determinada área en parcelas menores, presentando características topográficas semejantes, es reducir el volumen de tierra a ser movida, sin comprometer el desempeño del riego o de las futuras operaciones agrícolas mecanizadas que se serán desenvueltas en áreas sistematizadas (**Scaloppi, 2003**).

4.10.4. Anotación de datos de nivelación

Se debe construir un mapa tal que todas las anotaciones puedan ser registradas. Para eso se hace una cruz, sobre la posición de cada estaca, o simplemente se cuadrícula el mapa, con las líneas pasando sobre las posiciones de las estacas (**Salassier, 1995**).

Scaloppi (2003) señala el esquema convencional de anotación de datos, en cada estaca, identificada por la intersección de las líneas ortogonales de la libreta de campo como:

COTA ORIGINAL	LECTURA DE MIRA
COTA CALCULADA	CORTE O RELLENO

4.10.5. Trazado de curvas a nivel

Para facilitar la visualización de la condición topográfica original del área, se puede trazar curvas a nivel, a intervalos regulares y adecuados de cotas. Estos intervalos, normalmente varían entre 20 a 50 cm, dependiendo de la variación de las cotas observadas en el área. Las curvas a nivel constituyen referencias valiosas para orientar una eventual división de área en parcelas, que pueden ser sistematizadas en un plano único (Scaloppi, 2003).

Estas deben ser construidas, a fin de que puedan permitir un mejor entendimiento de la topografía del terreno, permitiendo divisiones en subáreas con topografía semejante, de manera que se las sistematiza de manera independiente, tornando menor el volumen de tierra a ser movida, e por consiguiente, más barato el costo de sistematización (Salassier, 1995).

4.10.6. Estaqueamiento

Se debe hacer un levantamiento topográfico de toda el área, con estacas distanciadas unos de otros de 20 m en todas las direcciones, formando, entonces cuadrados de 20 m de lado. Las estacas podrán también ser distanciados unos de otros de 10 m ó de 25 m, dependiendo de la mayor o menor uniformidad de la superficie, o de la precisión deseada (Salassier, 1995).

Las estacas utilizadas en sistematización presentan dimensiones relativamente patronizadas, establecidas en 120 x 5 x 1 cm. (Scaloppi, 2003).

La forma de identificación de las alturas de corte y relleno, en las estacas, también está convencionada. Las alturas de corte son identificadas, pintándose las estacas, a partir de la extremidad superior, una distancia igual a la respectiva altura de corte, preferentemente de color rojo. Las alturas de relleno, son reconocidas a través de estacas pintadas preferentemente en azul, desde la superficie natural del terreno, hasta el punto definido por la respectiva altura de relleno en aquella estaca **(Scaloppi, 2003)**.

Para facilitar la identificación de las estacas, se colocan letras en una dirección y números en la otra **(Salassier, 1995)**.

4.10.7. Métodos de cálculo

Existen métodos que tienen por objetivo determinar el plano de sistematización, que será obtenido a través de las operaciones de corte y relleno de la superficie original **(Scaloppi, 2003)**

Hay varios métodos para el cálculo de sistematización de terreno. Será presentado solamente un método básico, el método del centroide, también conocido como cuadrados mínimos o media de perfil **(Salassier, 1995)**.

4.10.7.1. Método de cuadrados mínimos aplicado a áreas regulares

Este método consiste en la determinación de la inclinación de las rectas representativas de los perfiles medios de las direcciones cartesianas y, a partir de esos datos, obtener el plano que mejor se adapte a la topografía original del terreno.

Se trata de un método adaptado a áreas con formas rectangulares, de manera que la superficie resultante presenta un gradiente de declive uniforme en todas las direcciones.

Localización del centro geométrico del área (Centroide)

En áreas rectangulares, la localización del centroide corresponde a la distancia media de los dos ejes ortogonales, en relación al punto de origen. La posición del centroide puede ser fácilmente determinada, sumándose las estaciones en cada

dirección y dividiendo el resultado por el número de estaciones en la respectiva distancia considerada (**Scaloppi, 2003**).

$$Xm = \frac{\sum_{j=1}^M S_j}{M} \quad (32)$$

Dónde:

Xm = Distancia, en estaciones, del centroide al punto de origen, en la dirección del eje X.

S_j = Distancia, en estaciones, de la columna j al punto de origen O

M = Número total de estaciones.

$$Ym = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N} \quad (33)$$

Donde:

Ym = Distancia, en estaciones, del centroide al punto de origen, en la dirección del eje Y.

S_i = Distancia, en estaciones, de la columna i al punto de origen O

N = Numero total de estaciones (**Salassier, 1995**).

Determinación de la cota centroide

Es la suma de la cota de todas las estaciones, dividida por el número de ellos. (**Salassier, 1995**)

La cota centroide representa la cota media de todas las estacas existentes en el área a ser sistematizada (**Scaloppi, 2003**).

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_{ij}}{N.M} \quad (34)$$

Determinación de la inclinación de las rectas que mejor representan los perfiles medios en las direcciones cartesianas

Puede ser calculado a través de:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m (ih) - \frac{(\sum_{i=1}^m i)(\sum_{i=1}^m h)}{m}}{\sum_{i=1}^m i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^m i)^2}{m}} \quad (35)$$

$$c = \frac{\sum_{j=1}^n (jh) - \frac{(\sum_{j=1}^n j)(\sum_{j=1}^n h)}{n}}{\sum_{j=1}^n j^2 - \frac{(\sum_{j=1}^n j)^2}{n}} \quad (36)$$

Dónde:

b y c = Coeficientes angulares de las rectas ajustadas en las respectivas direcciones X e Y.

m y n = Número total de estaciones correspondientes a las cotas medias h en las respectivas direcciones X e Y.

Determinación de la ecuación del plano que mejor se adapta al terreno

$$H(x_c, y_c) = a + b x_c + c Y_c \quad (37)$$

Dónde:

$H(x_c, y_c)$ = Representa la cota del centroide.

$$a = H(x_c, y_c) - b x_c - c Y_c \quad (38)$$

Dónde:

a = Cota del punto de origen.

Determinación de la condición de corte y relleno en cada estaca

El valor algebraico de diferencia entre la cota calculada (H) y la cota original (h), en cada estaca, determina la condición de corte (signo negativo) y relleno (signo positivo) conforme a la siguiente ecuación:

$$\partial h(x,y) = H(x,y) - h(x,y) \quad (39)$$

Dónde:

$H(x,y)$ = Cota calculada

$h(x,y)$ = Cota original (**Scaloppi, 2003**).

4.10.8. Ajustes de corte y relleno

La experiencia en sistematización de tierras con equipos mecanizados ha revelado que, generalmente, debe haber un mayor volumen de cortes que rellenos. Esto se aplica a todos los suelos y condiciones, independientemente del acabado observado en suelos recién cultivados o naturalmente desagregados. Una explicación para justificar este comportamiento es que los rellenos realizados con equipos pesados sufren compactación, necesitando un volumen extra para complementarlos. Se debe considerar, también, los desvíos de tierra que ocurren en el cargamento y transporte. Algunos autores acreditan que, debido a una ilusión óptica, el operador tiende a aplicar un exceso de tierra entre las estacas en un área de relleno (**Scaloppi, 2003**).

La relación entre corte y relleno debe variar de 1.2 a 1.4 o sea, el volumen de corte debe ser de 1.2 a 1.4 veces mayor que del volumen de relleno (**Salassier, 1995**).

$$\frac{\sum \text{Corte}}{\sum \text{Relleno}} = m \text{ (m debe variar de 1.2 a 1.4)} \quad (40)$$

Para determinar el valor que el plano de sistematización debe ser rebajado (Δ) para proporcionar una determinada relación de R entre el volumen de corte (V_c) y de relleno (V_a), basta aplicar la siguiente relación:

$$\Delta = \frac{R \sum a - \sum c}{Nc + R.Na} \quad (41)$$

Dónde:

Δ = Valor a ser rebajado el plano de sistematización

R = Relación entre corte y relleno deseada (varia entre 1.2 a 1.4)

Σa = Sumatoria de alturas de relleno

Σc = Sumatoria de alturas de corte

Nc = Número de cortes

Na = Número de rellenos (**Scaloppi, 2003**).

Scaloppi (2003), señala que la nueva relación de corte y relleno puede ser calculado por:

$$\Sigma caj = \Sigma c + (Nc \times \Delta) \quad (4.37)$$

$$\Sigma aaj = \Sigma a - (Na \times \Delta) \quad (42)$$

4.10.9. Cálculo de volumen de tierra

La literatura especializada destaca cinco métodos principales para estimar los volúmenes de corte y relleno, en función de las respectivas alturas de corte y rellenos identificados en cada estaca en el área a ser sistematizada, y del espaciamiento regular adoptado entre las mismas. Estos métodos se basan en principios de geometría espacial, exhibiendo diferentes grados de complejidad y precisión (**Scaloppi, 2003**).

El volumen total de tierra proveniente de los cortes es la base principal para estimar el equipamiento necesario y el costo de sistematización (**Salassier, 1995**).

La estimación precisa del volumen de tierra a ser movida en sistematización es indispensable para proceder a la evaluación de costo de las operaciones y establecer contratos para la ejecución de servicios (**Scaloppi, 2003**).

El cálculo de volúmenes de cortes de áreas puede ser calculado por los métodos denominados como: prismoidal, volúmenes parciales, cuatro puntos, planos

horizontales y sumatorio (**Scaloppi, 2003**).

Existe el método de sumatorias, que es menos preciso, pero más fácil y rápido de ser ejecutado (**Salassier, 1995**).

Este método se basa en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de corte} = (\sum \text{cortes})(\text{Area de influencia de cada estaca}) \quad (43)$$

$$\text{Volumen de relleno} = (\sum \text{rellenos})(\text{Area de influencia de cada estaca}) \quad (44)$$

4.11. LA FERTIRRIGACIÓN EN SISTEMAS DE RIEGO POR SURCOS CON CAUDAL CONTINUAMENTE REDUCIDO

En sistemas de riego por surcos también se puede integrar un equipamiento simple de fertirrigación. La adición de fertilizantes al agua de riego puede ser dosificado en partes y reducir las pérdidas por volatilización y percolación. El equipamiento requerido es simplemente un recipiente volumétrico dotado de un registro, resistente a la acción corrosiva de la solución química. El recipiente es instalado sobre una caja de recepción de agua y la solución química es adicionada al agua de riego en la dosis recomendada. La turbulencia de agua en la caja de recepción favorece la homogeneización de la mezcla (**Scaloppi, 2010**).

Carbajal (2004), señala que la posibilidad de incorporar mecanismos de fertirrigación, no sólo permiten dosificar el fertilizante en los momentos deseados y las veces que desees, sino que también representa un ahorro de aplicación al eliminar el equipo terrestre o aéreo.

Con el parcelamiento de la fertirrigación, se puede evaluar la aplicación realizada y, siendo necesario, recalcular las dosis para las próximas aplicaciones. Para asegurar la preservación ambiental, se recomienda restringir la aplicación, apenas al área cultivada, eliminando la ocurrencia de escurrimiento superficial al final de los surcos (**Scaloppi, 2011**).

Para el cálculo de la cantidad de fertilizantes por hectárea se presentan a continuación las siguientes formulas:

$$\text{Fertilizante (Kg/ha)} = \frac{\text{Nivel de fertilización}}{\text{Ley (\%)}} \times 100 \quad (45)$$

$$\text{Fertilizante (l/ha)} = \frac{\text{Nivel de fertilización}}{\text{Concentración (Kg/l)}} \quad (46)$$

4.12. CULTIVO DE PAPA

4.12.1. Posición taxonómica

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

REINO: Vegetal

SUBREINO: Embriophyta

DIVISION: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

SUBCLASE: Asteridae

ORDEN: Solanales

FAMILIA: Solanaceae

GENERO: Solanum

ESPECIE: ***Solanum tuberosum L***

VARIEDAD: ÑUSTA – CICA

4.12.2. Características botánicas

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

La planta de papa es de naturaleza herbácea. Planta consta de un sistema aéreo y un sistema subterráneo. **(Egusquiza, R. 2000)**

- ❖ **El brote.-** El brote es un tallo que se origina en el ojo del tubérculo. El tamaño y la apariencia del brote varía según las condiciones en la que se ha almacenado el tubérculo, cuando se siembra el tubérculo los brotes aceleran su crecimiento y, al salir a la superficie del suelo se convierte en tallo, no es deseable la presencia de brotes cuando el tubérculo se comercializa para consumo, es deseable la presencia de brotes cuando el tubérculo se

comercializa para semilla.

- ❖ **El tallo.-** La planta de papa es un conjunto de tallos aéreos y subterráneos, el tallo principal se origina del brote del tubérculo semilla, el tallo secundario se origina de una yema subterránea del tallo principal, el tallo estolonifero se origina de un estolón que forma contacto con la luz, la rama se origina de una yema aérea del tallo principal, el estolón transportan sustancias que se trasladan desde el follaje, el tubérculo es el tallo que almacena sustancias; entonces, la planta de papa es un conjunto de tallos especializados para sostener hojas y flores (tallos aéreos), transportar azúcares (estolones) y almacenar almidones (tubérculo) .
- ❖ **La hoja.-** La hoja es la estructura que sirve para captar y transformar la energía lumínica (luz solar) en energía alimenticia (azúcar y almidón), la superficie de las hojas es la fuente que utiliza la planta de papa para el crecimiento, y almacenamiento (producción). Es importante mantenerla sana el tiempo más largo posible.
- ❖ **La flor.-** La flor es la estructura aérea que cumple funciones de reproducción sexual. Desde el punto de vista agrícola, las características de la flor tienen importancia para la diferenciación y reconocimiento de variedades, las flores se presentan en grupos que conforman la inflorescencia; cada flor se presenta al final de las ramificaciones del pedúnculo floral (pedicelos), el pedicelo está dividido en dos partes por un codo denominado articulación de pedicelo o codo de abscisión.
- ❖ **Fruto y semilla.-** El fruto o baya de la papa se origina por el desarrollo del ovario. La semilla, conocida también como semilla sexual el ovulo fecundado, desarrollado y maduro; el número de semillas por fruto puede variar desde cero (nada) hasta 400, cada semilla tiene la facultad de originar una planta que, adecuadamente aprovechada puede producir cosechas satisfactorias.
- ❖ **El tubérculo.-** El tubérculo es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido y orientado hacia los costados (expansión lateral). El tubérculo de papa es el tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de los excedente de energía (almidón); el tubérculo es “fruto” agrícola producto del trabajo, dedicación, responsabilidad del “papero” y de las condiciones favorables del ambiente donde ha crecido.(Egusquiza, R. 2000)

4.12.2.1. Exigencias respecto a las condiciones ambientales

Temperatura

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

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

- **Luz**

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

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

- **Fotoperiodo**

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

La subespecie andigena, por el contrario, tuberizan adecuadamente bajo condiciones de día corto y al ser llevada a condiciones de fotoperiodo largo el periodo de crecimiento se alarga excesivamente, florece profusamente, pero no tuberiza o lo hace escasamente, es decir, produce tubérculos pequeños. **(Jiménez, C. 2010)**

- **Suelo**

Las papas pueden crecer casi en todo tipo de suelo, salvo donde son salinos o

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

- **Siembra**

Para el momento de la siembra el suelo debe estar adecuadamente preparado, en general, las labores esenciales en la preparación de suelos para la siembra de papa son:

- a) Aradura, “barbecho”, “chaqmay” o “chacmeo”
- b) Cruzada (aradura en sentido transversal al de la primera pasada del arado)
- c) Mullimiento, “desterronado” o gradeado(paso de la grada)
- d) Surcadura (establecimiento de los surcos de siembra)

Cualquiera que sea la forma en la que se prepare el suelo (a mano: con chaquitacla, wiri, pico o picota; con tracción animal, yunta de bueyes o caballo; tracción mecánica: tractor), lo más importante es que la preparación del suelo debe asegurar buena relación con el agua, asegurar buen crecimiento de las raíces, reducir la presencia de malas hierbas.

Profundidad y distanciamiento de siembra

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

El distanciamiento de siembra de tubérculos semilla de papa es la longitud de separación entre los surcos (distancia entre surcos) y entre semilla (distancia dentro del surco) cuyos valores tradicional es 1 metro entre surco y entre semilla 30 cm.

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

- Utilización máxima de la superficie del suelo.

- Máximo aprovechamiento de la energía lumínica (luz solar).
- Follaje que no cree condiciones para daños de plagas o enfermedades.
- Follaje que no incremente daños de accidentes climáticos (sequías, heladas). (Egusquiza, R. 2000)

4.12.3. Manejo del cultivo

Abonos y fertilizantes

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

Abonos

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

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

Fertilizantes

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

Tabla 3. Nivel de fertilización para el cultivo de papa

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

Fuente: Guía técnica manejo integrado de papa UNALM-AGROBANCO 2011.

Riego

El trabajo de aplicación de agua al cultivo de papa (riego) es de mucha importancia porque el rendimiento del cultivo está directamente y apositivamente relacionado con la cantidad total de agua aplicada por campaña. Es decir, si se dispone de buen drenaje y es posible controlar las enfermedades causadas por hongos y bacterias, “a más agua mayor rendimiento”.

La planta de papa es muy sensible tanto a la falta (déficit) como al exceso de agua. El exceso puede ser contrarrestado por diferentes formas pero las pérdidas que causa la deficiencia de agua son más comunes y notorias.

En el sistema de producción en secano, los cultivos de papa de mejor rendimiento son aquellos que reciben por lo menos 600 mm de precipitación (lluvia). Si en una zona de producción la cantidad de lluvia es menor a la cifra indicada, es necesario utilizar una variedad precoz o agotar cualquier posibilidad para mejorar la infraestructura de riego.

Los riegos deben ser ligeros y frecuentes antes que distanciados y pesados.

Control de malezas

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

Las malezas compiten en la absorción de nutrientes, agua, luz y además pueden ser hospederos de plagas y enfermedades, este control se realiza generalmente en el primer aporque; el control químico se utiliza cuando hay cantidad excesiva de malezas y en situaciones de escasez de mano de obra. **(Jiménez, C. 2014)**

Aporque

Es el traslado de tierra al cuello de las plantas de papa. En muchos lugares de la sierra se denomina segundo cultivo. El aporque eleva la altura de los camellones, profundiza el surco de riego y aísla las raíces, estolones y tubérculos de las plagas que proceden del exterior.

Oportunidad del aporque

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

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

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

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Durante la ejecución del trabajo, se han cuantificado diferentes aspectos como: la pendiente de terreno, la lámina de riego para el cultivo de papa, la longitud de surcos con pruebas de avance e infiltración, el equipamiento de fertirrigación tiempo de riego y el funcionamiento del riego con caudal continuamente reducido, además de la determinación de la demanda hídrica del cultivo que hacen del presente trabajo de investigación, como una investigación del tipo descriptivo.

5.1. PERIODO Y LUGAR DEL EXPERIMENTO.

Los trabajos de campo y las evaluaciones se realizaron desde el 15 de Julio del 2014 hasta 15 de Abril del 2015 en el Centro Agronómico K'ayra, Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco cuya ubicación es:

Ubicación política

Región : Cusco

Provincia : Cusco

Distrito : San Jerónimo

Ubicación geodésica

Longitud : 71° 54'

Latitud Sur : 13° 34'

Altitud : 3,234.926 msnm

Coordenadas UTM

La parcela C-2 del trabajo de investigación se encuentra en la zona 19S que tiene como código del sistema de coordenadas de WGS 84 –19S.

Las coordenadas UTM de la parcela se presentan a continuación:

UTM-N : 84998333N

UTM-E : 18612E

Altura-Z : 3234.926 msnm

Ubicación hidrográfica

Cuenca : Vilcanota

Sub cuenca : Huatanay

Micro cuenca : Huanacaure

Zona de vida

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

5.2. MATERIALES DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo del trabajo se utilizaron diferentes tipos de materiales, insumos, instrumentos, equipos y paquetes computacionales, los cuales se detallan a continuación:

Materiales para la instalación de la parcela

- 12 tubos de PVC de 4" de saneamiento.
- 5 tubos de PVC de 2" de saneamiento.
- 3 codos de PVC de 2" de saneamiento.
- Émbolo de plástico.
- Tubo de PVC $\frac{3}{4}$ de instalaciones eléctricas.
- 40 metros de cordelhuascar

- Cilindro de recepción metálica
- 10 baldes de 20 l (graduados)
- Libreta de campo
- 63 estacas de madera de 40 cm de largo y 10 x 5 cm de sección
- 15 estacas de madera de 1,50 m
- 5 Bolsas de polietileno
- 20 metros de alambre de 1/4" galvanizado
- ½ Kg de clavos de 2"
- Malla metálica 10 metros de largo por 1.5 de ancho
- Pintura esmalte sintético de color blanco anticorrosiva 1 balde (4 Lts)
- 1 Gl de tiner
- Yeso 1 saco

Insumos

- 290 Kg de semilla de papa de la variedad Ñusta CICA
- Fertilizante papa sierra 100 kg (15 – 25 – 15 de N-P-K)
- Urea 17 kg (46 de N)

Instrumentos

- Taladro eléctrico
- Compresora
- Nivel de albañil

- Winchametalica de 50 metros
- Aforador RBC de 2 l/s
- 5 Jalones de madera

Herramientas

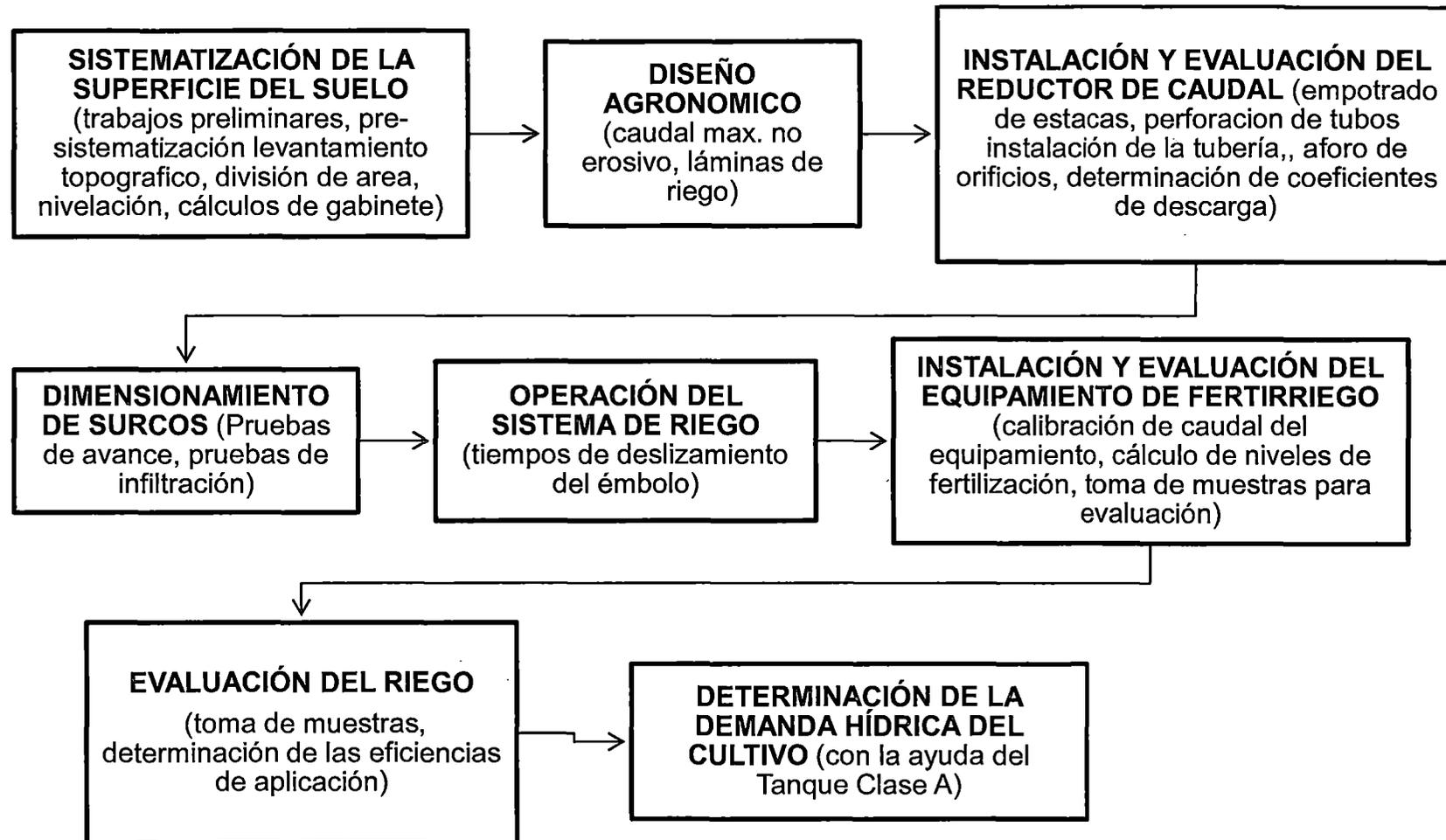
- Martillo
- Pico
- Pala
- Lampa
- Segadera
- Llave inglesa

Equipos y maquinaria

- Estación total Topcon
- Nivel de ingeniero
- Brújula
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Cronómetro
- Laptop
- Tanque clase A
- AnemómetroKestrel 1898721
- Tractor agrícola 5 horas

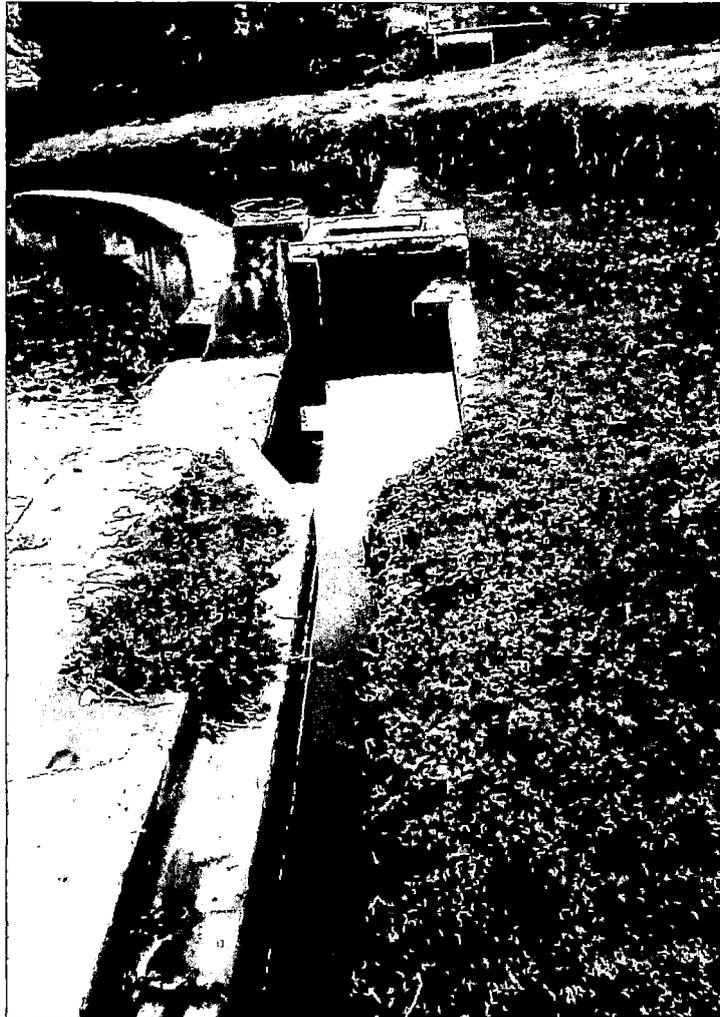
5.3. METODOLOGÍA

Diagrama de flujo de actividades



5.3.1. Información básica del campo experimental

Recurso hídrico



Fotografía 1. Captación sector "Chanchería"

Se contó con una fuente de agua, el cual se aforo obteniéndose un caudal de 5 l/s, dicha fuente se ubica en el sector denominado como Chanchería, del cual es captado y conducido hasta la válvula de apertura ubicado en la cabecera de parcela C-2.

Con esa fuente de agua de riego de 5l/s el sistema, puso en funcionamiento simultáneo 7 orificios, es decir de los treinta orificios que contaba el tubo de mantedamiento 7 orificios salían agua con caudales decrecientes desde el

maspróximo al embolo (0.79 l/s) con el máximo caudal hasta 0.36 l/s el mínimo caudal en el sentido del cilindro de recepción de caudal.

Topografía

La extensión total de la Parcela C-2 es de 13515.142 m² con un perímetro de 462.387 m, mediante los datos de la estación total (método de cuadrados mínimos de 5 x 5 m) se obtuvo una pendiente de 2.33 % en la dirección del escurrimiento y 3.33 %, perpendicular a los surcos de riego, de las cuales se tomó una extensión de 1200 m² para realizar el trabajo de investigación.



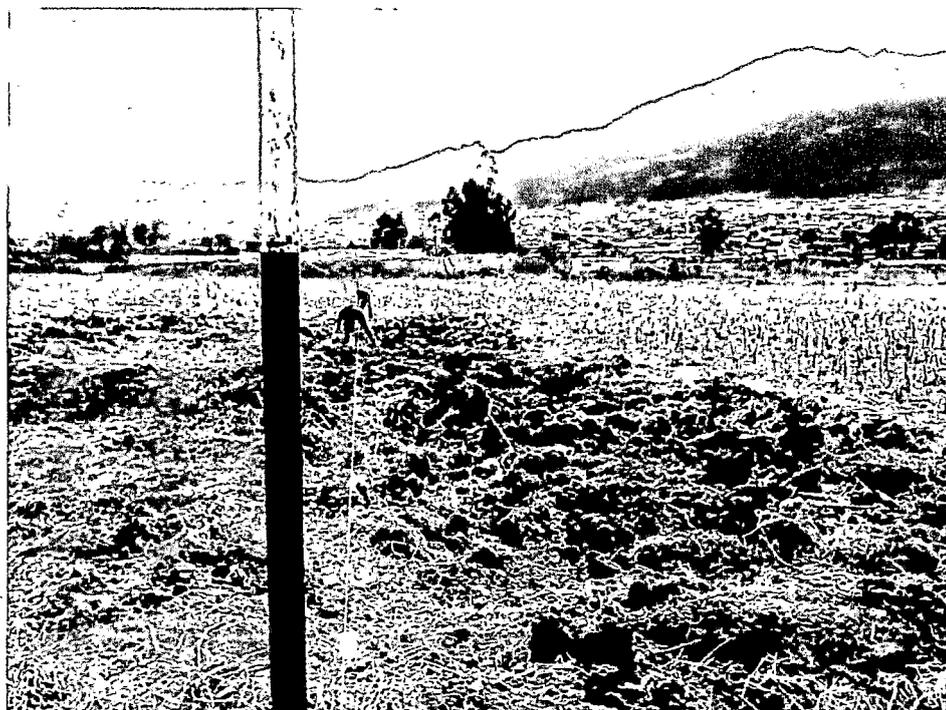
Fotografía .2. Reconocimiento del área de investigación parcela C-2.

Inicialmente la Parcela C-2, presentaba irregularidades en su superficie, que fue corregido con una labor de arado y rastrado

Forma del predio

La Parcela C-2 presenta una forma irregular en su extensión total y para la realización del presente trabajo de investigación, se seleccionó un área de 1500 m² de forma rectangular ubicado en dirección u orientación Nor

Este, presentó condiciones favorables para optimizar los trabajos de sistematización realizados.



Fotografía 3. Selección del área de investigación parcela C-2

Caracterización de suelos

Para la determinación de las características físicas y químicas del suelo de la parcela C-2, se realizó la toma de muestras al azar de lugares representativos a profundidades 0 a 50 cm, debidamente homogeneizadas y etiquetadas que posteriormente se llevó al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y Zootecnia.

La caracterización física y química de suelo de la Parcela C-2, se realizó básicamente a través de la toma de muestras en lugares representativos del área con la finalidad de ser llevadas al laboratorio para su análisis y posterior obtención de resultados de las características físicas, químicas y biológicas.



Fotografía 4. Punto de muestreo para estudio de suelos

A continuación se presentan los resultados del análisis de suelo:

Cuadro 9. Análisis de fertilidad

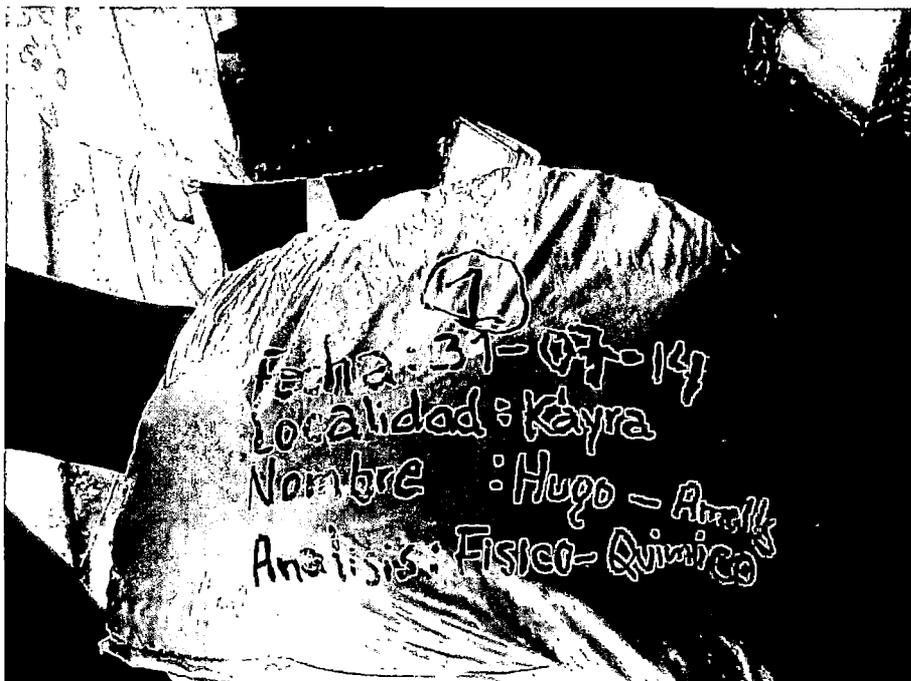
N°	CLAVE	C.E mmhos/cm	pH	MO %	N. TOTAL %	ppm	
						P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0-50	0.40	8.60	1.12	0.06	52.1	80

Cuadro 10. Análisis de caracterización

N°	CLAVE	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL
1	0-50	38	33	29	FRANCO ARCILLOSO

Cuadro 11. Análisis de humedad, densidad y porosidad del suelo

N°	CLAVE	HE %	CC %	Da g/cc	Dr g/cc	PMP %	POROSIDAD %
1	0-50	24.37	23.70	1.51	2.50	12.66	39.60



Fotografía 5. Muestra de suelos homogeneizada

5.3.2. Sistematización de suelos de la Parcela C-2

5.3.2.1. Trabajos preliminares

Los trabajos preliminares a la sistematización se detallan a continuación:

Reconocimiento del área

Previo a los trabajos de sistematización se realizó el respectivo reconocimiento del área de estudio, el reconocimiento del área a ser sistematizada permitió conocer el estado en el que se encontraba Parcela C-2, para posteriormente programar actividades para su acondicionamiento con los trabajos de sistematización.



Fotografía 6.. Condiciones en que se encontró la parcela C-2

Periodo en la que se realizó la sistematización

Las actividades de sistematización se realizaron desde el 15 de Julio hasta el 15 de Agosto del 2014, época muy favorable por la ausencia de lluvias, que incrementan el peligro de compactación de suelos por las actividades de movimiento de tierras realizadas.

5.3.2.2. Pre-sistematización

Las labores de pre-sistematización que se realizaron básicamente fueron la quema de residuos de cosecha, malezas y la eliminación de irregularidades muy particulares en el terreno (elevaciones y depresiones) a través de una labor de aradura y dos labores de rastra, es decir una hora de tractor agrícola con arado.



Fotografía 7. Quema de restos de cosecha parcela C-2

Posterior al trabajo de aradura se procedió con la intervención del tractor agrícola con rastraal campo con la finalidad de uniformizar el área y remover los rastrojos de cosechas anteriores para realizar los trabajos de nivelación.



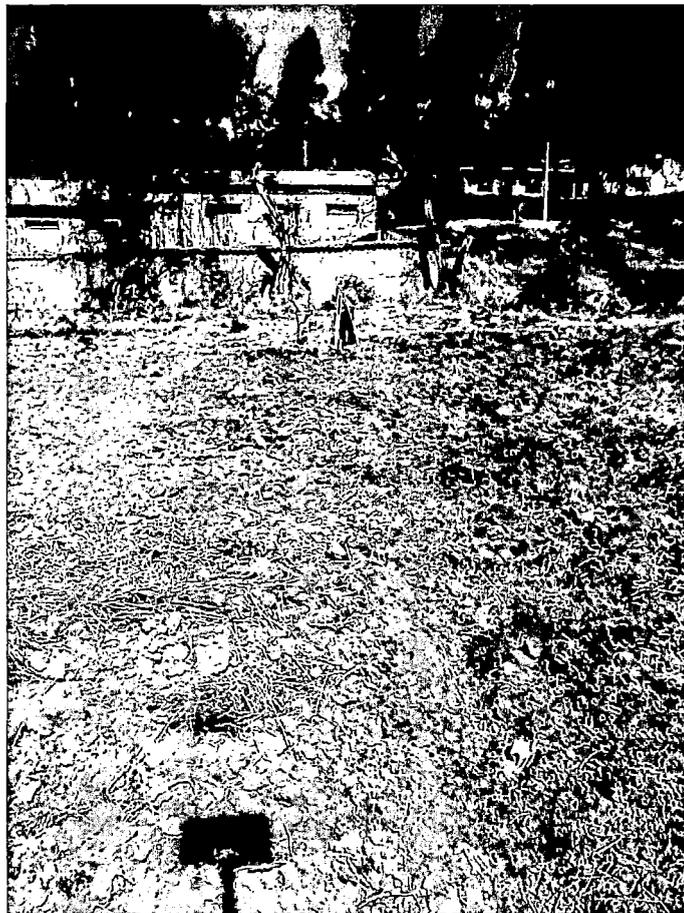
Fotografía 8. Rastra para la eliminación de irregularidades del suelo

5.3.2.3. Levantamiento topográfico

Los trabajos de levantamiento topográfico se realizaron el 20 de Julio del 2014 con una estación total Topcon.

Posterior a los trabajos en campo, se procesaron los puntos tomados en el software AutoCad Civil 3D, para poder generar la superficie del terreno y los respectivos perfiles longitudinales y transversales.

Con la ayuda del plano topográfico, se localizaron los puntos de abastecimiento de agua y se ubicó el punto estratégico de instalación del reductor de caudal, además se conoció la extensión de la superficie a ser utilizada para la instalación del trabajo de investigación.



Fotografía 9. Levantamiento topográfico

5.3.2.4. División de área

Con la ayuda del plano topográfico antes generado se procedió a realizar el marcado del terreno en cuadrantes de 5 x 5m con la finalidad de obtener las cotas originales de cada vértice de cuadrante y hacer más representativa las lecturas de las cotas.

El replanteo en campo se realizó con la ayuda de un cordel de albañil y se utilizó yeso para el marcado.



Fotografía 10. División de área en cuadrantes de 5 x 5 m

5.3.2.5. Anotación de datos de nivelación

Para el caso del presente trabajo, se realizó un trabajo de nivelación utilizando una estación total, (método de nivelación geométrico) de tal manera que facilitó la obtención de cotas originales de los diferentes puntos visados.

Las cotas obtenidas correspondieron a los puntos donde se empotraron las estacas de sistematización, de manera que se obtuvo las cotas de los cuatro puntos de los cuadrantes antes delimitados.

Las cotas así obtenidas se procesaron en una planilla de Excel, que facilitaron los cálculos de sistematización.



Fotografía 11. Obtención de cotas originales de cada estaca

5.3.2.6. Cálculos de sistematización por el método de cuadrados mínimos

Para tal fin se diseñó una planilla de cálculo en Excel, en el cual se introdujeron todas las formulas requeridas por el método de cuadrados mínimos para la sistematización de la Parcela C-2; dicha planilla facilitó los cálculos a realizarse.

La planilla fue diseñada de tal manera que realiza los cálculos paso a paso y como se detalla a continuación:

- **Localización del centro geométrico del área (Centroide)**

La coordenada X del centroide se halla con la ecuación (32).

$$X_m = \frac{\sum_{j=1}^M S_j}{M}$$

$$Xm = \frac{45}{9}$$

$$Xm = 5$$

La coordenada Y del centroide se determina con la ecuación.

$$Ym = \frac{\sum_{i=1}^N Si}{N} \quad (33)$$

$$ym = \frac{28}{7}$$

$$ym = 4$$

La intersección de ambas coordenadas, es el punto de localización del centro geométrico o centroide.

- **Determinación de la cota centroide**

La cota centroide hace referencia al promedio de las cotas originales, de tal manera que se suma todas las cotas obtenidas en campo y se divide entre el número total de cotas que fueron sumadas; se determina con la ecuación (34).

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Hij}{N \cdot M}$$

$$Hm = \frac{203777.780}{9 \times 7}$$

$$Hm = 3234.56794 \text{ m}$$

- **Determinación de la inclinación de las rectas que mejor representan los perfiles medios en las direcciones cartesianas**

La pendiente a la que mejor se adapta el terreno en la dirección del eje X se calcula con la ecuación (35).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m (ih) - \frac{(\sum_{i=1}^m i)(\sum_{i=1}^m h)}{m}}{\sum_{i=1}^m i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^m i)^2}{m}}$$

$$b = \frac{145547.23 - \frac{45 \cdot 29111.111}{9}}{285 - \frac{2025}{9}}$$

$$b = -0.138 \text{ m/estación}$$

$$b = -1.38 \%$$

El signo negativo significa que hubo una gradiente de declive en la dirección X a partir del punto de origen, con una gradiente uniforme de 0.13 m / 10 m, y por tanto 1.38 m / 100 m.

Para el cálculo de la pendiente en la dirección Y se utilizó la ecuación (36)

$$c = \frac{\sum_{j=1}^n (jh) - \frac{(\sum_{j=1}^n j)(\sum_{j=1}^n h)}{n}}{\sum_{j=1}^n j^2 - \frac{(\sum_{j=1}^n j)^2}{n}}$$

$$c = \frac{90562.191 - \frac{28 \times 22641.976}{7}}{140 - \frac{784}{7}}$$

$$c = -0.20 \text{ m / estación}$$

$$c = -2.0 \%$$

El signo negativo significa que hubo declive en la dirección Y a partir del punto de origen, con una gradiente uniforme de 0.2 m / 10 m, y por tanto 2.0 m / 100 m.

- **Determinación de la ecuación del plano que mejor se adapta al terreno**

La ecuación (37) determina el plano que mejor se adapta al terreno, teniendo como premisa la determinación de la cota del punto de origen (**a**) teniendo con los datos de las gradientes en las direcciones X e Y, la cota y las coordenadas del centroide.

$$a = H(x_c, y_c) - b x_c - c Y_c$$

$$a = 3234.5679 - (-0.138)(5) - (-0.2)(4)$$

$$a = 3236.057 \text{ m}$$

Teniendo todos los datos de la ecuación (37), basta remplazar solo los valores de coordenadas de cada estación para determinar las cotas calculadas de las mismas.

$$H(x_c, y_c) = 3236.057 + (-0.138) x_c + (-0.2) Y_c \quad (38)$$

- **Determinación de la condición de corte y relleno en cada estaca**

La diferencia entre la cota calculada y la cota original, determina la condición de corte (-) y relleno (+), que se observa en la ecuación (39)

$$\partial h(x, y) = H(x, y) - h(x, y)$$

5.3.2.7. Ajustes de corte y relleno

La realización de los ajustes de corte y relleno tiene como finalidad obtener una relación C/R que debe variar entre 1.2 a 1.4 como se muestra en la ecuación (40)

$$\frac{\sum \text{Corte}}{\sum \text{Relleno}} = m \quad (m \text{ debe variar de } 1.2 \text{ a } 1.4)$$

$$\frac{4,020}{8,620} = 0,47$$

Por lo tanto se debe determinar la variación de la cotas en todas las estacas para obtener dicha relación a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{R \sum a - \sum c}{Nc + R.Na}$$

$$\Delta = \frac{1.3 \times 8,620 - 4,020}{21 + 1.3 \times 23}$$

$$\Delta = 0.14117953 \text{ m}$$

Con las ecuaciones que se presentan a continuación se puede determinar la nueva relación C/R.

$$\sum c_{aj} = \sum c + (Nc \times \Delta) \quad (41)$$

$$\sum c_{aj} = 4,020 + (21 \times 0,14117953) = 6,985 \text{ m}$$

$$\sum a_{aj} = \sum a - (Na \times \Delta) \quad (42)$$

$$\sum a_{aj} = 8,620 - (23 \times 0,14117953) = 5,373 \text{ m}$$

Entonces:

$$\frac{6,985}{5,373} = 1,30$$

Que significa que los cortes superan a los rellenos en 30 %.

5.3.2.8. Cálculo de volumen de tierra

El cálculo del volumen de tierra a ser movida se determina a través de las ecuaciones (43) y (44).

5.3.2.9. Marcación de los cuadrantes

Para facilitar el trabajo del operador de la maquinaria se realizó las respectivas marcaciones de los cuadrantes con yeso, cuadrantes de 5 x 5 m.



Fotografía 12. Marcaciones de los cuadrantes

5.3.2.10. Movimiento de tierras

Posterior a los trabajos de marcación de los cuadrantes, se realizó el trabajo de movimiento de tierras con la ayuda de un tractor agrícola a través del rastrado; Se realizaron los cortes y rellenos respectivos de acuerdo a las cotas halladas y los cuadrantes determinados para corte y relleno.

Los trabajos de movimiento de tierras se complementaron con un rastrado final, que uniformizó la superficie de terreno.



Fotografía 13. Movimiento de tierras con tractor agrícola



Fotografía 14. Labor de rastrado posterior al movimiento de tierras

5.3.3. Diseño agronómico

5.3.3.1. Caudal máximo no erosivo

La ecuación (11) toma los coeficientes según el tipo de suelo (cuadro 2) que son $C = 0.613$, $a = 0.733$ (textura media) y la pendiente del suelo que fue calculada en la Pg. 93; Para determinar el caudal máximo no erosivo, aquel que garantiza que no se producirá erosión del suelo, en el momento en que se derive dicho caudal a los surcos.

$$q_{\max} = \frac{C}{S^a} \quad (11)$$

$$q_{\max} = \frac{0.613}{1.38^{0.733}}$$

$$q_{\max} = 0.48 \cong 0.5 \text{ l/s}$$

El resultado del caudal máximo no erosivo fue redondeado al inmediato superior con fines de facilitar la instalación del reductor de caudal en la cabecera de parcela.

5.3.3.2. Cálculo de láminas de riego

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

La lámina neta de riego es la cantidad de agua que un suelo es capaz de almacenar y que está disponible para la absorción radicular por parte de los cultivos.

La lámina neta para riego de machaco calculada por la ecuación (12), es la cantidad de agua que un suelo puede almacenar para un debido trabajo culturales y garantizar la germinación del cultivo, y la lámina neta para riego de mantenimiento toma en cuenta el factor de secamiento (f), o criterio de riego

que determina la cantidad de agua disponible que puede perder un cultivo sin afectar su normal desarrollo y su capacidad de producción.

Mientras que la lámina bruta expresa la relación de la lámina neta entre la eficiencia de riego.

Se debe conocer la cantidad óptima de agua de riego que es necesario aplicar al cultivo, considerando las características físicas del suelo principalmente, para ello se puede emplear las siguientes ecuaciones:

Cálculo de la Lámina neta

Lámina neta para riego de machaco. El cálculo de la lámina neta para riego de machaco se realiza a través de la ecuación (12)

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

$$Ln = \left(\frac{23.70 \% - 12.66\%}{10} \right) * 1.51 \text{ g/cm}^3 * 10 \text{ cm}$$

$$Ln = 16.67 \text{ mm}$$

Que son las láminas incorporadas al suelo para fines de preparado del suelo e instalación del cultivo de papa.

Dicha lámina denominaremos como lamina inicial para fines y de cálculo con la planilla de manejo de riego.

- Lámina neta para riego de mantenimiento

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) * Da * z * f \quad (13)$$

$$Ln = \left(\frac{23.70 \% - 12.66\%}{10} \right) * 1.51 \text{ g/cm}^3 * 10 \text{ cm} * 0.4$$

$$Ln = 6.67 \text{ mm}$$

La lámina de 6.67 mm, es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en una profundidad de 10 cm, el cual está disponible para la germinación del cultivo de papa.

5.3.3.3. Consumo diario

Por medio de las lecturas del Tanque Clase A y utilizando la ecuación (14), se determinó la ETc diariamente, lo que correspondería al consumo diario de agua por parte del cultivo de papa.

5.3.3.4. Número de riego por mes

En este trabajo de investigación usamos tres profundidades radiculares diferentes, (z = profundidad radicular) que son 10, 20 y 45 cm; Por tal razón contamos con una misma planilla pero con tres laminas netas diferentes, esto debido a que la profundidad radicular de la papa no es homogénea a lo largo de sus ciclo fenológico, es decir, no tiene la misma profundidad radicular a los 10 días después de la siembra que a los 80 días.

$$Ln = \left(\frac{23.70 \% - 12.66\%}{10} \right) * 1.51 \text{ g/cm}^3 * 10 \text{ cm}$$

$$Ln = 16.67 \text{ mm}$$

$$Ln = \left(\frac{23.70 \% - 12.66\%}{10} \right) * 1.51 \text{ g/cm}^3 * 20 \text{ cm}$$

$$Ln = 33.34 \text{ mm}$$

$$Ln = \left(\frac{23.70 \% - 12.66\%}{10} \right) * 1.51 \text{ g/cm}^3 * 40 \text{ cm}$$

$$Ln = 66.68 \text{ mm}$$

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

Cuadro 12. Planilla de manejo de riego

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

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

En la planilla de manejo de riego mostrada anteriormente, se trabajó con tres láminas netas diferentes:

- La primera corresponde a 16.67 mm que vendría a ser la lámina neta del riego de machaco que para fines de cálculo se utilizó como lámina de inicio de la primera fase fenológica del cultivo de papa (fase de "emergencia") que vendría a ser los treinta primeros días después de la siembra con una profundidad radicular de 10 cm. La lámina de 10 mm (Lámina final), se obtiene de la diferencia de la lámina neta de riego de machaco y la lámina neta del riego de mantenimiento que es de 6.67 mm.
- La segunda corresponde a 33.34 mm que vendría a ser la lámina neta de mantenimiento que corresponde a la fase fenológica de "formación de estolones" del cultivo de papa; En tiempo estamos hablando desde los 30 días después de la siembra (fase fenológica de "emergencia") hasta los 60 días con una profundidad radicular de 20 cm. La lámina de 20 mm (lámina final) se obtiene de la diferencia de la lámina de riego de machaco y la lámina neta del riego de mantenimiento que es de 13.34 mm.
- La tercera y última lámina neta de inicio es 66.68 mm que vendría a ser la lámina neta para el resto de los ciclos fenológicos del cultivo de papa, con una profundidad radicular de 40 cm. La lámina de 40 mm (lámina final) se obtiene de la diferencia de la lámina de riego de machaco y la lámina neta del riego de mantenimiento que es de 26.68 mm.

Además se muestra el valor de la eficiencia de riego de 60.87%

Para la determinación de coeficiente del tanque (k_p), se utilizan los datos climáticos de humedad relativa (HR) y velocidad de viento. El valor k_p es multiplicado por la evaporación (E_v) del tanque medida diariamente para determinar la E_{To} que multiplicado por el K_c del cultivo de papa se determina la E_{Tc} diaria del cultivo.

En el caso K_c del cultivo de papa, se utilizó de acuerdo a estado fenológico en que se encontraba la papa, por tal razón se tuvo 3 K_c ; que bien a ser: 0.5, para

los treinta primeros días (fase fenológica de emergencia) 0.8 de los treinta hasta

Los 60 días (fase de formación de estolones), y por último 1 para el resto de las fases fenológicas de la papa.

La ETc obtenida se resta del valor de la lámina neta inicial para obtener el valor de la lámina neta final. El valor máximo al cual debe disminuir la lámina neta final corresponde a los valores de 10 mm, 20 mm, 40 mm, que corresponde a las láminas netas ya mencionadas respectivamente, llegado a este valor se procede a regar el cultivo.

El riego necesario corresponde a la diferencia de la lámina neta de inicio y la lámina neta final, dicho valor se divide entre la eficiencia de riego para obtener el riego a aplicar.

Cuando se presentan precipitaciones, estas se añaden a la lámina neta final.

5.3.4. El reductor de caudal

5.3.4.1. Instalación del reductor de caudal

Procedimiento

1. Empotrado de estacas en la cabecera de parcela

Se empotraron estacas de madera a una profundidad de 50 cm distanciadas a 2.00 m. La instalación de las estacas se realizó en la cabecera de parcela con la finalidad de que sostengan la tubería con una pendiente uniforme de 1%, trabajo que fue realizado con un nivel de ingeniero y cordel.



Fotografía 15. Instalación de estacas en cabecera de campo



Fotografía 16. Nivelación de la cabecera de la parcela

2. Perforación de los tubos

Los orificios se realizaron con un distanciamiento de 1.00 m con un taladro eléctrico.

El diámetro de los orificios fue de 2.85 cm, que garantizó la descarga del caudal máximo no erosivo de 0.50 l/s en el orificio más próximo al émbolo.



Fotografía 17. Pintado y perforación de los tubos

Posterior al trabajo de perforación, se lijaron los orificios para eliminar los restos de tubo dejadas por el taladro y garantizar una caída uniforme del agua a través de los orificios.

3. Procedimiento de instalación de la tubería en la cabecera de la parcela

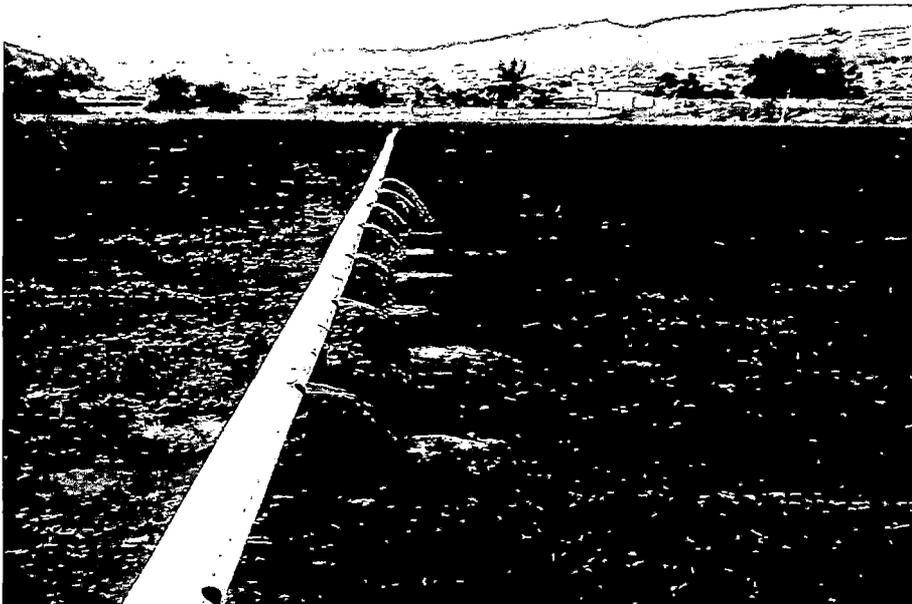
La instalación de la tubería se realizó en sentido contrario a la manera tradicional de instalación de tuberías, para evitar obstaculizar el embolo en las juntas entre tubo.

Gracias a la instalación de estacas de madera con una pendiente de 1 %, se realizó la fijación de la tubería sobre estas, para ello se utilizaron alambres, que aseguro la estabilidad sobre estas.



Fotografía 18. Instalación de la tubería en cabecera de la parcela

La disposición angular de los orificios respecto a la horizontal fue de 45° de manera que la descarga por cada orificio sea como se muestra en la fotografía siguiente:

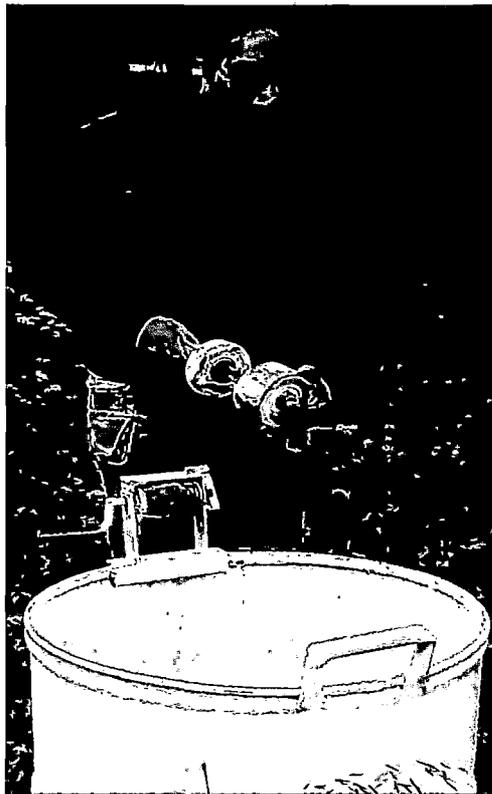


Fotografía 19. Ángulo de los orificios

4. Construcción del émbolo

Las partes del émbolo constaron básicamente de:

- Un recipiente de plástico de forma cilíndrica.
- Un tubo de instalaciones eléctricas de $\frac{3}{4}$.
- Un pequeño tapón para obstaculizar el flujo del agua por la sección del tubo de instalaciones eléctricas.
- Una asa de alambre para su fijación con la pita huascar.



Fotografía 20. Émbolo de plástico

5. Acondicionamiento del cilindro de recepción de caudal

Un cilindro de metal de un diámetro de 0.48 m de diámetro y una altura de 0.64 m, al cual se le acondicionó una manija con una traba, funcionó como una caja de recepción de caudal que hidráulicamente sería una cámara de carga.

El cilindro de recepción fue acondicionada para tal fin de tal manera que presento un orificio de acople con la tubería.

Los accesorios que se le acondicionaron fueron:

- Una manija con traba, mediante el cual se controló el deslizamiento del émbolo dentro de la tubería.
- Una polea, instalada en la base central del cilindro de metal, que garantizó la horizontalidad de pita huascar, al momento del deslizamiento del émbolo y facilitó el control de émbolo.
- Asas, para facilitar su transporte después de terminado el riego.

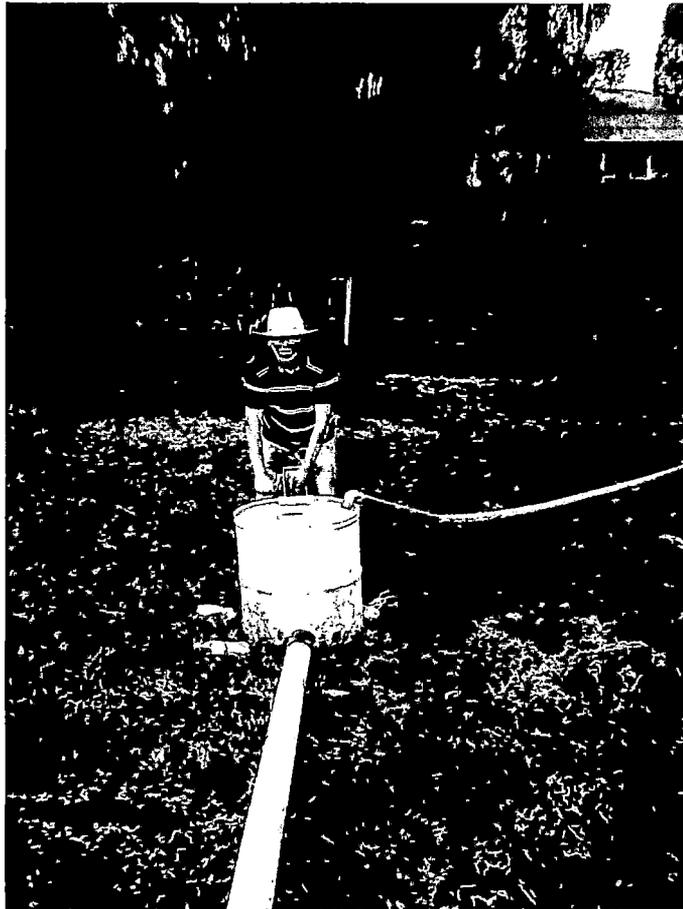


Fotografía 21. Cilindro de recepción de caudal

El deslizamiento del émbolo dentro de la tubería, esta comandado por el pitahuascar el cual esta adosada a la manija de control al cilindro de recepción del caudal.

En la fotografía siguiente se muestra la operación que se realiza para controlar el deslizamiento del émbolo.

El tiempo de deslizamiento del émbolo depende del tiempo de riego a aplicar agua a los surcos, en promedio sería de 40 minutos.



Fotografía 22. Operación de control del émbolo

La polea acondicionada en la caja de recepción de caudal, permitió que el deslizamiento del émbolo se produzca de mejor manera, además facilitó el control del deslizamiento del émbolo a través de la manija de control.

Aforo de caudales derivados de cada orificio

El caudal total del sistema así como la de los orificios fue aforado por el método volumétrico utilizando un recipiente de 20 litros.

Se aforó un total de 7 orificios, los cuales funcionaban de manera simultánea con un caudal de 5 l/s.

Durante los trabajos de aforo, se realizaron tres repeticiones de los cuales se obtuvo el promedio de caudal.

Los datos obtenidos del aforo de los orificios fueron llevados a análisis estadístico para determinar el coeficiente de variabilidad que presentaron durante las repeticiones realizadas.



Fotografía 23. Aforo de caudales de los orificios de la tubería

5.3.5. Diseño de surcos

El diseño de surcos se realizó a través de pruebas de campo.

A continuación se detallan las actividades que se realizaron para el diseño de surcos:

5.3.5.1. Pruebas de avance

Con la finalidad de obtener las curvas de avance de agua en los surcos, se hicieron pruebas de avance con diferentes caudales y en surcos representativos del campo de investigación.

Los caudales con los que se trabajaron fueron de 0.79, 0.66, 0.54 l/s.

El caudal de 0.54l/s se trabajó con mucho más cuidado por ser el caudal diseño (caudal máximo no erosivo).

Los pasos que se siguieron son:

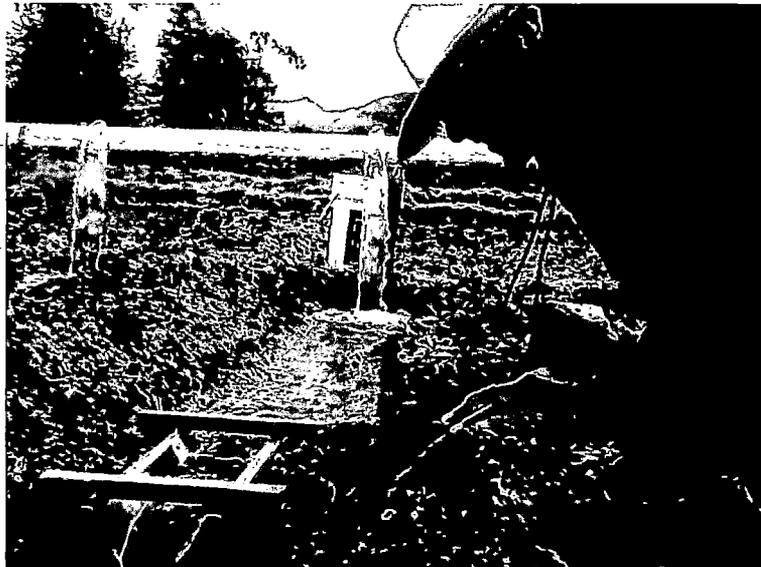
- Se instalaron jalones a intervalos de 10 m cada uno en una longitud de surco de 40 m.
- Se derivaron los caudales antes mencionados a los surcos de prueba.
- Se anotaron los tiempos de llegada de cada frente de avance a los puntos de instalación de los jalones.
- Los datos obtenidos en campo se procesaron en Excel, para graficar su línea de tendencia de tipo potencial.
- La ecuación de tipo potencial obtenida para cada curva, sirvió para ajustar los tiempos de avance obtenidos en campo y de esa manera ajustar las curvas de avance.



Fotografía 24. Pruebas de avance

5.2.5.2. Pruebas de infiltración

La prueba de infiltración se realizó a través del método de entradas y salidas, debido a que la infiltración en surcos se produce en dos sentidos (vertical y horizontalmente). Es decir la infiltración horizontal y vertical ocasionan la disminución del caudal por tal razón ambos son considerados como infiltración verdadera.



Fotografía 25. Pruebas de infiltración por el método de entradas y salidas

En la realización de la prueba se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

- Se instaló dos aforadores RBC de capacidad de 2 l/s cada uno en el surco de prueba y a un distanciamiento de 10 m.
- La primera lectura fue hecha en la estaca A (caudal y carga hidráulica) cuando el agua llegó a la mitad de distancia entre las estacas A y B.
- La segunda lectura fue hecha cuando el agua alcanzó la estaca B y las demás lecturas, cada cinco minutos, hasta notar que la velocidad de infiltración fue constante.
- Las velocidades de infiltración obtenidas en campo fueron transformadas a la unidad de mm/hr por la ecuación (23) para su respectivo ajuste a través de la ecuación (24) y la determinación de la infiltración acumulada con la ecuación (24).



Fotografía 26. Obtención de datos de infiltración

Determinación del largo máximo recomendable de surco

Con los datos ajustados de la prueba de avance y la determinación de la ecuación de la infiltración acumulada se procedió a determinar el largo máximo recomendable de surco con la cual se obtenga la mayor eficiencia de riego.

Para la determinación del largo máximo recomendable de surco, se procedió de 2 formas:

1. **Dimensionamiento por balance volumétrico.** Consiste básicamente en determinar el volumen de entrada de agua al surco y el volumen de agua almacenada en el suelo. El volumen de agua almacenada en el suelo debe ser igual al volumen requerido por el cultivo.

Para indicar el largo de surco se hace una comparación del volumen medio aplicado con el volumen de riego requerido y sus tiempos de avance y aplicación respectivamente.

Los volúmenes de agua pueden ser expresados en términos de lámina de riego para facilitar la comparación.

2. **Dimensionamiento por lámina acumulada.** Para poder dimensionar por este método, se debe partir de la obtención de la ecuación de la infiltración acumulada del suelo. Tomando la infiltración acumulada como la lámina de riego requerida por nuestro cultivo, despejamos el tiempo de la ecuación para conocer el tiempo de aplicación para que en el suelo se almacene la lámina de riego requerida.

La ventaja de este método, es que toma en cuenta la propiedad de infiltración de agua en el suelo, de tal manera que el largo de surco se recomienda por comparación de las láminas infiltradas y sus respectivos tiempos de aplicación con los tiempos de avance obtenidos.

5.3.6. Operación del sistema de riego con caudal continuamente reducido

La operación del sistema constó básicamente en la determinación de 2 parámetros, los cuales se detallan a continuación:

5.3.6.1. Determinación del tiempo de deslizamiento del émbolo

Para la determinación del tiempo de deslizamiento se utilizó la ecuación (4), propuesta por **Scaloppi (2010)**.

El criterio seguido según Scaloppi (2010), hace referencia de que el tiempo en el que debe de deslizarse el émbolo es cuando se ha aplicado la cantidad de agua expresada en %, determinada por el número de surcos hasta un límite del 40 %, al resolver la ecuación (5).

5.3.6.2. Determinación de los tiempos de apertura y cierre (on-off)

El número de pulsos se determinó a través de la ecuación (6).

Con la determinación del tiempo ON, se realizaron entre 4 y 5 pulsos, para mejorar los tiempos de avance de los caudales derivados de los orificios.

Para realizar los pulsos, básicamente se deslizó el embolo cada 6 orificios durante el tiempo de aplicación calculado anteriormente, hasta concluir el con el proceso mismo de riego del campo de cultivo.

5.3.7. Determinación de la demanda hídrica del cultivo de papa

La demanda hídrica del cultivo de papa se calculó por la suma de las ETc diarias registradas en la planilla de manejo de riego.



Fotografía 27. Tanque Clase A instalado en campo

5.3.8. Instalación y evaluación del equipamiento de fertirriego

5.3.8.1. Instalación

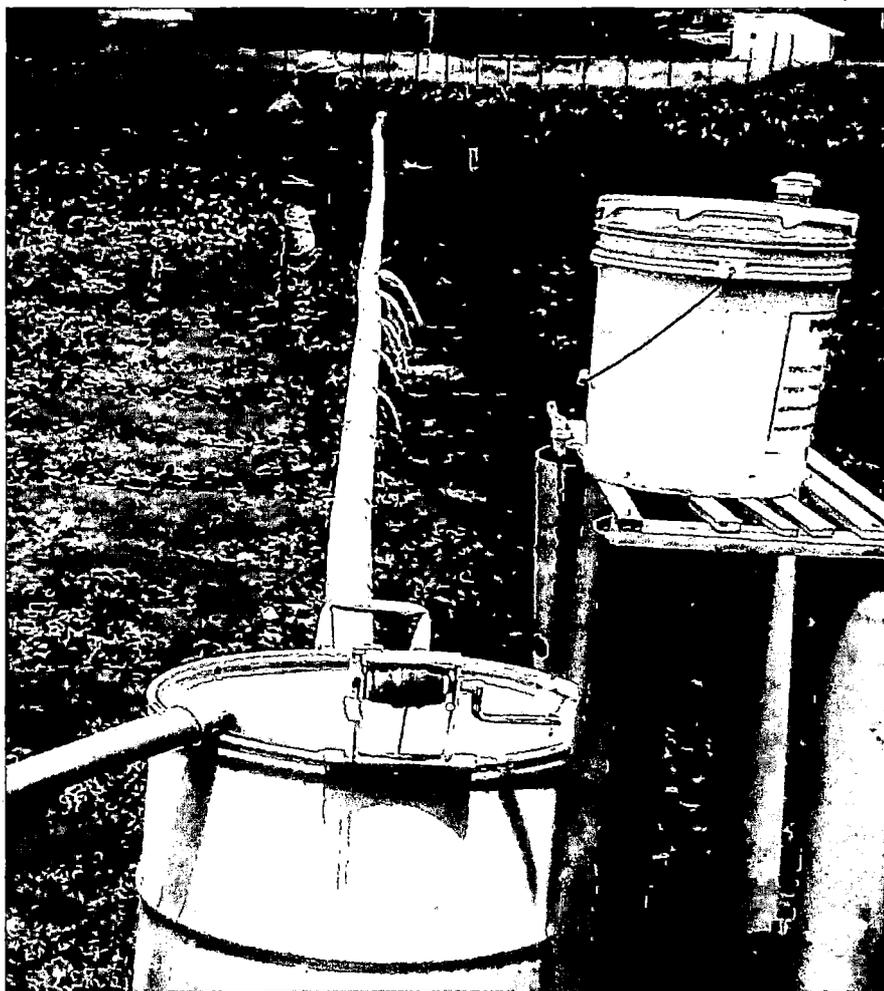
- El equipamiento de fertirriego que constó básicamente de un recipiente de plástico de 20 L de capacidad con una pileta, que se instaló sobre una plataforma de madera de tal manera que se añadió fertilizante nitrogenado (urea) y Fertilizante papa sierra, disuelto en agua en la caja de recepción para ser distribuido junto con el agua en toda la parcela.

La calibración del caudal de la pileta, se determinó por el método volumétrico, utilizando un recipiente de 100 ml, con lo cual se determinó el

tiempo de aplicación del fertilizante (tiempo de vaciado del recipiente) para cubrir el área de cultivo.

Gracias a la turbulencia de la caja de recepción de caudal, se garantizó la distribución homogénea de la solución de fertilizante.

Los fertilizantes utilizados para la prueba fueron Urea (46 % de nitrógeno) y papa sierra (N P K (15 – 25 -15)) los cuales se añadieron junto con el agua de riego.



Fotografía 28. Equipamiento de fertirriego



Fotografía 29. Turbulencia en el cilindro de recepción del caudal.



Fotografía 30. Riego del cultivo de papa a los 55 días .



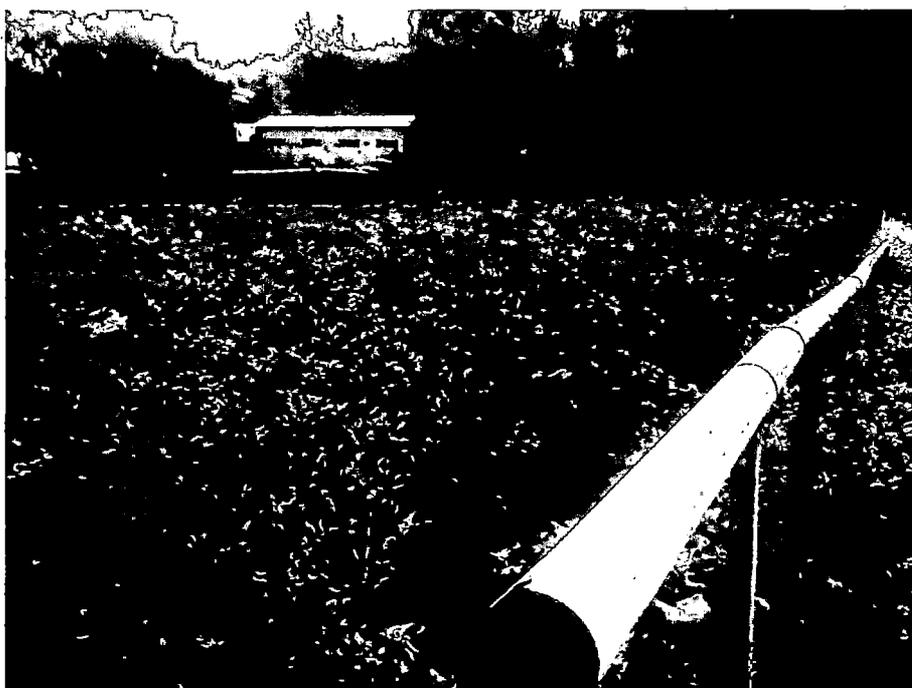
Fotografía 31. Riego del cultivo de papa después del primer aporque



Fotografía 32. Fertirrigacion del cultivo de papa



Fotografía 33. Desarrollo del cultivo de papa a los 75 días



Fotografía 34. Inicio de la floración del cultivo de papa

5.3.8.2. Evaluación

La evaluación del equipamiento se realizó a través de la obtención de muestras de suelo del campo de cultivo.

Las muestras de suelo obtenidas se llevaron al laboratorio para la determinación del contenido de nitrógeno en cada punto de muestreo.

Los puntos de muestreo se realizaron en la cabecera, la mitad y la cola de surco a una profundidad de 0.20 m, inmediatamente después de realizada la fertirrigación. Las muestras obtenidas fueron homogeneizadas en cada punto de muestreo, obteniéndose $\frac{1}{2}$ Kg de muestra de cada punto.



Fotografía 35. Punto de muestreo para evaluar la fertirrigación

5.3.9. Evaluación del riego

5.3.9.1. Determinación del perfil de humedecimiento

Para determinar el perfil de humedecimiento, se procedió a muestrear el campo de cultivo.

El muestreo se realizó en la cabecera de surco, en el medio y final, de tal manera que se determinó los perfiles de humedecimiento de cada tramo de surco.

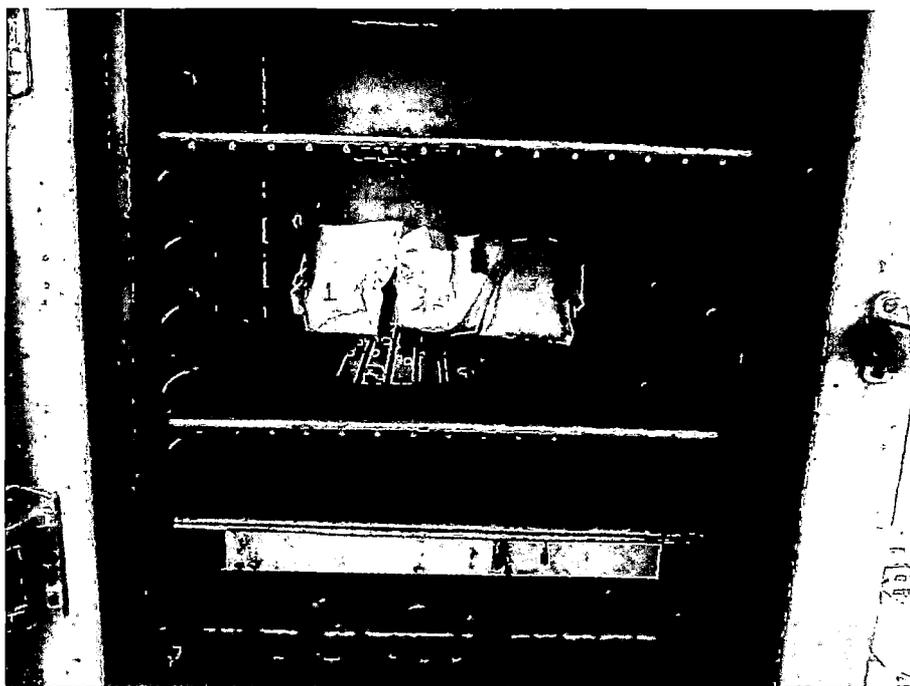
5.3.9.2. Determinación de la lámina infiltrada

Se extrajeron muestras de suelo de la base de surco a profundidades de 0-20 y 20-40 cm (40 cm representa el 75 % de la profundidad efectiva de la raíz de papa) de la cabecera, medio y cola de surco, antes y después del riego, obteniéndose un total de 12 muestras que fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía y Zootecnia.

Se determinó el contenido de humedad de cada muestra de suelo por el método gravimétrico.



Fotografía 36. Muestra de suelo después del riego siendo pesada



Fotografía 37. Muestras de suelo secadas en estufa durante 24 hr

Con los datos de contenido de humedad de cada muestra se procedió a expresarlas en términos de lámina infiltrada para obtener los volúmenes de agua disponible, volumen percolado, volumen deficitario y volumen requerido.

Para obtener el volumen aplicado se contó con los datos de caudal derivado del orificio del reductor de caudal y el tiempo de aplicación para incorporar la lámina requerida.

Con los datos antes mencionados se determinó la eficiencia de aplicación, almacenamiento y uniformidad del sistema de riego.

5.3.10. Determinación del rendimiento del cultivo de papa.

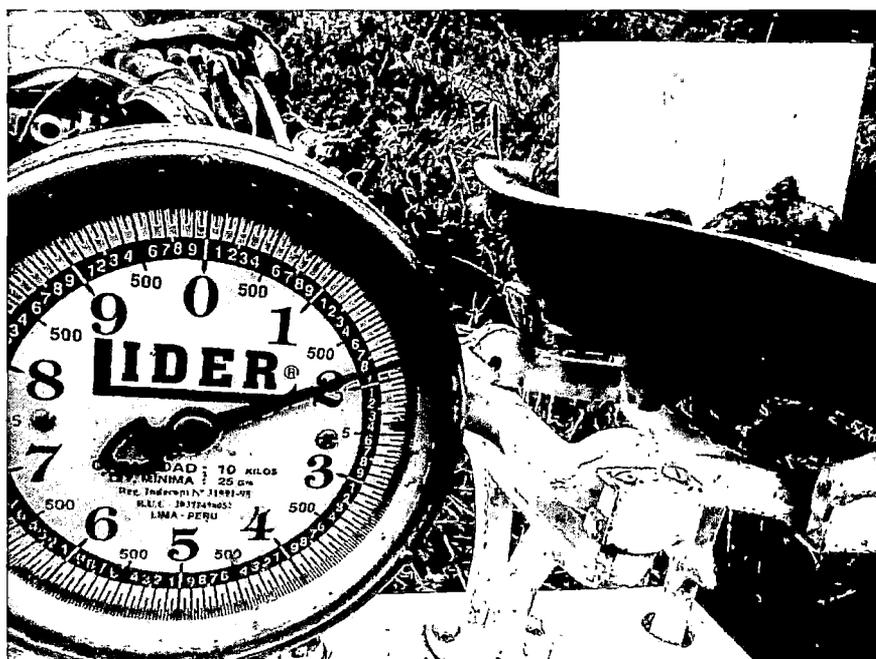
Para la determinación del rendimiento se utilizaron 2 métodos.

5.3.10.1. Peso unitario de 60 plantas.

Para la determinación del rendimiento del cultivo de papa se obtuvo un promedio de peso de 60 plantas (matas), el método que se utilizó fue el método del sombrero, teniendo en cuenta que el distanciamiento de planta a planta es de 0.40 m y el largo del surco fue 40 m tuvimos un total de 100 plantas por surco y 3000 plantas en 30 surcos.



Fotografía 38. Etiquetado de las plantas de papa



Fotografía 39. Pesado de la papa

Método peso por área.

Para utilizar este método se demarco un área de 20 m² y se procedió a escarbar la papa para luego proceder a pesar, y por método de regla simple llevar a al área total de trabajo 1200 m².



Fotografía 40. Marcado del área para la evaluación de rendimiento.



Fotografía 41. Recolección de los tubérculos del surco marcado

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADO DEL DISEÑO Y LA EVALUACIÓN DEL RIEGO SEMI-AUTOMATIZADO

El objetivo de la sistematización de suelo, fue disminuir la pendiente de la Parcela C-2 a 1.33 % en dirección de los surcos, y eliminar las irregularidades particulares que pudieran afectar en el desempeño del riego instalado.

Previamente se realizaron trabajos preliminares como la pre-sistematización, nivelación, etc. para llegar al objetivo central.

Los datos de nivelación obtenidas en campo se muestran a continuación:

Cuadro 13. Cotas originales obtenidas con una estación total

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	3235.520	3235.350	3235.220	3235.010	3234.870	3234.790	3234.580
2	3235.410	3235.220	3235.060	3234.880	3234.710	3234.550	3234.390
3	3235.290	3238.130	3234.930	3234.750	3234.570	3234.380	3234.200
4	3235.200	3234.990	3234.800	3234.620	3234.440	3234.250	3234.050
5	3235.050	3234.870	3234.690	3234.500	3234.290	3234.120	3233.930
6	3234.960	3234.760	3234.570	3234.370	3234.180	3233.990	3233.840
7	3234.850	3234.640	3234.450	3234.230	3234.860	3233.890	3233.720
8	3234.720	3234.520	3234.310	3234.010	3233.920	3233.760	3233.590
9	3234.640	3234.410	3234.190	3233.980	3233.750	3233.610	3233.450

Fuente. Elaboración propia

En el cuadro 13. Se puede apreciar que las cotas con las que se trabajaron son las respectivas alturas topográficas sobre el nivel del mar de los puntos visados con la estación total.

En trabajos de nivelación usuales, se suelen tomar las alturas de los puntos respecto al eje de colimación del nivel de ingeniero, lo que no ocurrió con la

nivelación para este trabajo.

Para fines de sistematización de suelos por el método de cuadrados mínimos, cotas obtenidas con una estación total resultaron ser bastante precisos al igual que un trabajo de nivelación con nivel de ingeniero.

La principal ventaja de trabajar con una estación total para estos casos fue la obtención inmediata de cotas las cuales fueron procesadas en una planilla de cálculo Excel.

Cuadro 14. Cotas calculadas

		EJE Y						
EJE X	i/j	1	2	3	4	5	6	7
	1	3235.735	3235.531	3235.327	3235.123	3234.919	3234.715	3234.511
	2	3235.596	3235.392	3235.188	3234.984	3234.780	3234.577	3234.373
	3	3235.458	3235.254	3235.050	3234.846	3234.642	3234.438	3234.234
	4	3235.319	3235.115	3234.911	3234.707	3234.503	3234.299	3234.095
	5	3235.180	3234.976	3234.772	3234.568	3234.364	3234.160	3233.956
	6	3235.041	3234.837	3234.633	3234.429	3234.225	3234.021	3233.817
	7	3234.902	3234.698	3234.494	3234.290	3234.086	3233.882	3233.678
	8	3234.763	3234.559	3234.355	3234.151	3233.947	3233.744	3233.540
	9	3234.625	3234.421	3234.217	3234.013	3233.809	3233.605	3233.401

Fuente. Elaboración propia

El cuadro 15 se puede apreciar alturas de corte y relleno muy reducidos, los cuales requirieron de bastante precisión en su ejecución.

Debido a la falta de equipamiento para trabajos de sistematización, los cortes y rellenos fueron realizados por un tractor agrícola equipado con una rastra.

Por tal motivo las alturas de corte y relleno presentados sufrieron variaciones durante su ejecución en campo.

Cuadro 15. Cálculo de cortes (-) y rellenos (+) en metros.

		EJE Y						
EJE X	i/j	1	2	3	4	5	6	7
	1	0.215	0.181	0.107	0.543	0.049	-0.075	-0.069
	2	0.186	0.172	0.128	0.594	0.070	0.026	-0.017
	3	0.168	-2.876	0.120	0.646	0.072	0.058	0.034
	4	0.119	0.125	0.111	0.657	0.063	0.049	0.045
	5	0.130	0.106	0.082	0.638	0.074	0.040	0.026
	6	0.081	0.077	0.063	0.589	0.045	0.031	-0.023
	7	0.052	0.058	0.044	0.570	-0.774	-0.008	-0.042
	8	0.043	0.039	0.045	0.561	0.027	-0.016	-0.050
	9	-0.015	0.011	0.027	0.563	0.059	-0.005	-0.049

Fuente. Elaboración propia

El método de cuadrados mínimos, permitió la obtención de iguales volúmenes de corte y relleno, para lo cual fue necesario ajustar las alturas de corte y relleno y obtener una relación C/R igual a 1.30, que significa que los volúmenes de corte fueron superiores a los de relleno en un 30 %.

Cuadro 16. Ajustes de corte (-) y relleno (+) en metros.

		EJE Y						
EJE X	i/j	1	2	3	4	5	6	7
	1	0.074	0.040	-0.034	0.402	-0.092	-0.216	-0.210
	2	0.045	0.031	-0.013	0.453	-0.071	-0.115	-0.159
	3	0.026	-3.018	-0.022	0.504	-0.070	-0.084	-0.107
	4	-0.023	-0.016	-0.030	0.516	-0.078	-0.092	-0.096
	5	-0.011	-0.035	-0.059	0.497	-0.067	-0.101	-0.115
	6	-0.060	-0.064	-0.078	0.448	-0.096	-0.110	-0.164
	7	-0.089	-0.083	-0.097	0.429	-0.915	-0.149	-0.183
	8	-0.098	-0.102	-0.096	0.420	-0.114	-0.158	-0.192
	9	-0.157	-0.131	-0.115	0.421	-0.083	-0.147	-0.190

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 17. Cálculo de volúmenes de tierra a ser movida (m³)

		EJE Y						
EJE X	i/j	1	2	3	4	5	6	7
	1	1.850	1.001	-0.849	10.052	-2.297	-5.396	-5.245
	2	1.129	0.780	-0.319	11.331	-1.768	-2.867	-3.966
	3	0.658	-75.441	-0.540	12.611	-1.739	-2.088	-2.687
	4	-0.563	-0.412	-0.761	12.890	-1.959	-2.309	-2.408
	5	-0.283	-0.883	-1.482	12.419	-1.680	-2.529	-2.879
	6	-1.504	-1.603	-1.953	11.198	-2.401	-2.750	-4.100
	7	-2.225	-2.074	-2.424	10.727	-22.872	-3.721	-4.570
	8	-2.446	-2.545	-2.394	10.506	-2.843	-3.942	-4.791
	9	-3.917	-3.266	-2.865	10.536	-2.064	-3.663	-4.762

Fuente. Elaboración propia

Con los volúmenes de tierra calculados para ser movidos de cada área de influencia de cada estaca, se procedió a realizar los respectivos trabajos de sistematización de suelo.

El volumen total de corte fue de 215.046 m³ y el volumen de relleno fue de 107.688 m³.

Durante los trabajos de movimiento de tierras, los volúmenes anteriormente calculados, no fueron movidos en las cantidades calculadas por la imprecisión que otorgó el tractor agrícola debido a que solo se utilizó la rastra al momento de realizar los cortes y rellenos.

Por tales motivos no se cumplió de manera satisfactoria el trabajo de sistematización para la Parcela C-2.

Con todo ello se procedió a realizar el trabajo de surcado de la superficie con un distanciamiento de 1.00 m propuesto anteriormente.

6.2. RESULTADOS DEL DISEÑO AGRONÓMICO

El objetivo de esta parte era determinar las necesidades hídricas del suelo, para que garantice un desarrollo óptimo del cultivo de papa.

Con los datos obtenidos de laboratorio se procedió a realizar los cálculos de

diseño agronómico, para los cuales se tomaron en cuenta los siguientes parámetros detallados a continuación en el cuadro 18.

Cuadro 18. Parámetros de diseño

PARAMETROS DE DISEÑO	Unidades	Cultivo
		Papa
Lugar de ubicación del Predio		Centro Agronómico K'ayra (Parcela C-2)
Superficie	ha.	0.12
Cultivo		Papa
Relieve predominante		Uniforme
Fuente de agua		Riachuelo Huanacaure
Distanciamiento entre plantas	m.	0.40
Distanciamiento entre surcos	m.	1.00
Textura		Franco-arcilloso
Pendiente Promedio	%	1.00
Capacidad de campo	(%)	23.70
Punto de marchitez permanente	(%)	12.66
Densidad aparente	g/cc	1.51
Profundidad radicular efectiva	Cm	40
Factor de secamiento (f)	adimensional	0.4
Factor de cultivo (a máxima demanda)	Kc	1.2
Q máximo no erosivo/ orificio	l/s	0.50

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 19. Lámina de riego calculado en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 10 cm profundidad radicular.

CC %	23.70	RIEGO DE MACHACO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	12.66	Lámina neta (mm)	Lámina neta (mm)
Da (g/cm³)	1.51	16.67	6.67
Prof. efectiva de enraizamiento (cm)	10.00	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.40	27.38	10.96

Fuente. Elaboración propia

La obtención de lamina neta se detalla en las paginas 97 y 98, para hallar la lamina bruta se divide lamina neta entre la eficiencia ($16.67/0.6087 = 27.38$ mm) de igual marea para los cuadros 20,21.

Cuadro 20. Lámina de riego calculado en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 20 cm profundidad radicular.

CC %	23.70	2^{da} LAMINA DE RIEGO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	12.66	Lámina neta (mm)	Lámina neta (mm)
Da (g/cm³)	1.51	33.34	13.34
Prof. efectiva de enraizamiento (cm)	20.00	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.40	54.77	21,92

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 21. Lámina de riego calculado en función de las condiciones de suelo y cultivo a los 40 cm profundidad radicular.

CC %	23.70	3^{ra} LAMINA DE RIEGO	RIEGO DE MANTENIMIENTO
PMP %	12.66	Lámina neta (mm)	Lámina neta (mm)
Da (g/cm³)	1.51	66.68	26.68
Prof. efectiva de enraizamiento (cm)	40.00	Lámina bruta (mm)	Lámina bruta (mm)
Factor de secamiento (f)	0.40	109.54	43.83

Fuente. Elaboración propia

Aforo de caudales derivados de cada orificio

La determinación de los caudales de los orificios y caudal de entrada al sistema se realizaron por el método volumétrico con un recipiente de 20 litros.

Un caudal de entrada de 5.00 l/s mantuvo en funcionamiento 7 orificios con caudales en los rangos de 0.36 l/s en el orificio más próximo a la caja de recepción de caudal y 0.79 l/s en el orificio más alejado a ésta.

Disminuciones en el caudal de entrada repercutieron en el número de orificios funcionando simultáneamente, pero manteniéndose el mismo régimen de reducción de caudal.

Cuadro 22. Aforos de caudales derivados de los orificios de la tubería

ORIFICIO	TIEMPO (s)			CAUDAL (l/s)			CAUDAL PROMEDIO (l/s)
	T1	T2	T3	Q1	Q2	Q3	
1	55.36	55.02	55.55	0.361	0.364	0.360	0.36
2	42.05	42.35	42.26	0.476	0.472	0.473	0.47
3	37.85	36.96	37.23	0.528	0.541	0.537	0.54
4	33.29	33.86	33.53	0.601	0.591	0.596	0.60
5	30.32	30.25	30.46	0.660	0.661	0.657	0.66
6	27.35	27.19	27.86	0.731	0.736	0.718	0.73
7	24.95	25.45	25.55	0.802	0.786	0.783	0.79

Fuente. Elaboración propia

6.3. RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE SURCOS

Se discuten los resultados obtenidos por los dos métodos de dimensionamiento a continuación:

Dimensionamiento por balance volumétrico

La determinación del largo recomendable de los surcos se realiza mediante la comparación de los tiempos de avance con los tiempos de aplicación y la comparación de la lámina media aplicada con la lámina de riego requerida por el cultivo determinada con anterioridad en el diseño agronómico. Estos valores deben de ser iguales o en lo posible similares.

Entonces, comparando el tiempo de aplicación de 27.3 minutos para aplicar la lámina de riego requerida, con el tiempo de avance ajustado de 29.68 minutos, se tuvo una diferencia de 2.38 minutos entre ambos siendo aceptable tal diferencia, además de no presentar diferencias significativas en las láminas aplicadas con los respectivos tiempos.

La principal desventaja que tiene este método de dimensionamiento es que no toma en cuenta la infiltración de agua en el suelo. Es decir solo tomo en cuenta el tiempo de avance más no la infiltración del agua dentro del surco.

Los resultados de dimensionamiento para diferentes largos de surco se presentan en el cuadro.

Cuadro 23. Balance volumétrico para diferentes longitudes de surco

Caudal (l/s)	Largo de surco (m)	Distanciamiento entre surco (m)	Tiempo de avance (min)	Volumen aplicado (litros)	Lámina aplicada (mm)	Volumen requerido (litros)	Volumen a ser aplicado (litros)	Tiempo de aplicación (min)	Lámina aplicada (mm)
0,5	10	1	1,67	50,07	5,007	124,48	204,501396	6,8	20,45
0,5	20	1	3,55	106,59	5,3295	248,96	409,002793	13,6	20,45
0,5	30	1	10,25	307,38	10,246	373,44	613,504189	20,5	20,45
0,5	40	1	29,68	890,46	22,2615	497,92	818,005586	27,3	20,45
0,5	50	1	58,53	1756,02	35,1204	622,4	1022,50698	34,1	20,45

Fuente. Elaboración propia

En el cuadro 23 se muestra que de todos los largos de surco posibles, el que presentó mejores resultados fue el de 40 m. De acuerdo al cuadro la longitud de 20 m de surco presenta demasiadas pérdidas por escurrimiento superficial, mientras que para 50 m, los resultados obtenidos pueden ser aceptables para recomendar dicha longitud de surco (se dice que es aceptable por el tiempo de avance esta próximo al tiempo de aplicación).

6.4. RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO CON CAUDAL CONTINUAMENTE REDUCIDO

Cuadro 24. Resultados de operación del sistema de riego

Mes	Riegos/mes	Tiempo de riego por turno (hr)	Numero de turnos por riego	Tiempo de riego total (hr)	Caudal de entrada al sistema (l/s)	Tiempo de aplicación/surco (min)			Tiempo total de aplicación/surco (min)	Tiempo de desplazamiento del embolo (min)
						T1	T2	T3		
Octubre	1	5.63	1,0	5.63	5	20	36.3	-	56.3	20
	2	5.75	1,0	5.75	5	20	37.5	-	57.5	20
	3	5.82	1,0	5.82	5	20	38.2	-	58.2	20
	4	4.41	1,0	4.41	5	20	24.2	-	44.2	20
	5	5.58	1,0	5.58	5	30	25.8	-	55.8	20
Noviembre	1	6.41	3,0	19.25	5	20	34.18	-	64.18	20
	2	5.28	2,0	10.56	5	20	32.8	-	52.8	20
	3	5.5	2,0	11	5	20	34.75	-	54.75	20
	4	5.47	2,0	10.94	5	20	34.75	-	54.75	20
	5	5.37	2,0	10.74	5	20	33.72	-	53.72	20
	6	6	2,0	12	5	20	40	-	60	20
Diciembre	1	7	4	28	5	10	30	30	70	20

Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la operación de riego se obtuvieron en los meses de: Octubre, Noviembre, Diciembre. En los meses de Octubre y Noviembre fueron el más óptimo por la presencia de veranillos, por lo que no se presentaron dificultades en la operación del sistema. Los datos de la operación del sistema se presentan en el siguiente cuadro

Durante el mes de Octubre y Noviembre se realizaron un total de 11 riegos con una frecuencia de riego promedio de 5 días, y por último en el mes de Diciembre se tubo 1 riego; irrigándose desde las 7:00 am hasta el tiempo que se detalla en el cuadro anterior, no cumpliéndose las horas de riego con exactitud, debido a que cada turno de riego presentó ligeras variaciones de duración debido principalmente al contenido de humedad del suelo cambiante para cada caso, además por cada riego efectuado las condiciones hidráulicas de los surcos, se adaptaron de mejor manera, lo que permitió avances masrápidos que los anteriores riegos.

6.5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE FERTIRRIEGO

Los cálculos de la cantidad de fertilizantes necesaria para el área de cultivo de papa se detallan a continuación: De los datos de la Tabla 3. Nivel de fertilización para el cultivo de papa, sacamos un promedio que vendría a ser 190, 170, 140 Kg/ha de N-P-K, mediante una regla de tres simple dicho nivel lo llevamos a 1200 m²: si en 10000 m² ————— 190 kg/N

$$1400 \text{ m}^2 \text{ ————— } X.$$

Mediante esta operación obtuvimos nivel para 1200 m²(22.8, 20.4, 16.6 Kg de N – P- K).

Cuadro 25. Cálculo de fertilizantes para el cultivo de papa

FERTILIZANTE	Contenido de N asimilable (%)	Contenido de P asimilable (%)	Contenido de K asimilable (%)	Nivel de fertilización/1200 m ²			Dosis/1200 m ²	
				Nitrógeno (Kg)	Fosforo (Kg)	Potasio (%)	Urea (Kg)	Papa sierra (Kg)
Papa sierra	15	25	15	22.8	20.4	16.6	17	100
Urea	46	0	0					

Fuente. Elaboración propia

La cantidad de urea y papa sierra detallados en el cuadro 23. Se calcularon para ser dosificados en 8 turnos de riego con cantidades de 2.13 Kg de Urea y 6.25 Kg de papa sierra. Con una dosis de 52gr/l, los fertilizantes se dosificaron en ocho riegos con el equipamiento de fertirriego, cumpliéndose de manera satisfactoria los niveles de fertilización recomendados.

Para la respectiva evaluación del equipamiento de fertirriego se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm cada una; al inicio, medio y final de surco y se obtuvieron los contenidos de nitrógeno total de 0.08, 0.06 y 0.05 respectivamente lo que mostró que al inicio de surco se tuvo una aplicación de fertilizantes mayor que en la mitad y final de surco. Por el contrario, no se obtuvieron diferencias significativas entre la mitad y final de surco en cuanto al contenido de nitrógeno total, ya que la adición de fertilizantes se realizó junto con el agua de riego, corroborándose estos datos con la determinación de los perfiles de infiltración en la evaluación de riego realizada.

Los resultados del análisis de suelo realizado en laboratorio se pueden apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro26. Contenido de nitrógeno total del suelo después de la fertirrigación

Profundidad de muestreo (cm)	CONTENIDO TOTAL DE NITROGENO (%)		
	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3
0-30	0.08	0.06	0.05

Fuente. Elaboración propia

Se debe resaltar que las muestras tomadas, se realizaron inmediatamente concluido el proceso de riego.

6.6. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIEGO Y PERDIDAS POR PERCOLACIÓN

La obtención de 3 muestras por surco de suelo a una profundidad de 0.50 m, antes de efectuarse el riego, en la cabecera, medio y final de surco, realizadas

en 5 surcos diferentes se procedió a llevarlas al laboratorio para la determinación del contenido de humedad presente. De igual manera se procedió en la obtención de muestras después de efectuado en riego.

Posterior a la determinación de los contenidos de humedad del suelo antes y después del riego por el método gravimétrico, se determinaron las láminas infiltradas en el suelo en base a una profundidad de 50 cm por tramos de 15 m de surco.

En el primer tramo de surco la lámina infiltrada de 24.6mm fue superior a la lámina de riego de 20.45 mm calculada en diseño agronómico, por lo que se presentaron pérdidas por percolación en ese tramo.

La lámina infiltrada en el segundo tramo de surco fue de 22.6 mm relativamente superior a 20.45 mm, lo cual significó que si se tuvo pérdidas por percolación pero fueron mínimas dichas perdidas.

En el tercer tramo de surco la lámina calculada fue de 20.8 mm con una diferencia de 0.35 mm básicamente similar a la requerida, de tal manera que no se presentaron pérdidas por percolación.

Los datos obtenidos se presentan a detalle en el siguiente cuadro

Cuadro 27. Cálculo de las láminas infiltradas en el suelo después del riego

Tramo y Long. de surco (m)	Pr (m)	Da (g/cm ³)	Antes del riego		Después del riego		Lámina infiltrada por tramo (m)
			Humedad gravimétrica (g/g)	Humedad volumétrica (cm ³ /cm ³)	Humedad gravimétrica (g/g)	Humedad volumétrica (cm ³ /cm ³)	
15	0.50	1.51	0.1970	0.2975	0.2296	0.3467	0.0246
15	0.50	1.51	0.1987	0.3000	0.2286	0.3452	0.0226
15	0.50	1.51	0.1988	0.3002	0.2264	0.3419	0.0208

Fuente. Elaboración propia

HUMEDAD VOLUMÉTRICA

- Antes del irrigar

$$H_v = H_g \times D_a$$

Reemplazando los valores se tiene.

$$T_1 = 0.1970 \times 1.51 = 0.2975$$

$$T_2 = 0.1987 \times 1.51 = 0.3000$$

$$T_3 = 0.1988 \times 1.51 = 0.3002$$

- Después de irrigar

$$T_1 = 0.2296 \times 1.51 = 0.3467$$

$$T_2 = 0.2286 \times 1.51 = 0.3452$$

$$T_3 = 0.2264 \times 1.51 = 0.3419$$

LAMINA INFILTADA.

$$L_i = (H_{v2} - H_{v1}) \times P_r$$

Donde:

L_i = Lamina infiltrada

H_{v1} = Humedad volumétrica antes de irrigar.

H_{v2} = Humedad volumétrica después de irrigar

P_r = Profundidad de la muestra

Reemplazando los valores se tiene:

$$L_1 = (0.3467 - 0.2975) \times 0.50 = 0.0246$$

$$L_2 = (0.3452 - 0.3000) \times 0.50 = 0.0226$$

$$L_3 = (0.3419 - 0.3002) \times 0.50 = 0.0208$$

VOLUMEN INFILTRADO

$$VI = (L1 \times \text{Tramo del surco} \times \text{Ancho del surco})$$

$$VI_1 = (0.0241 \times 15) \times 1 = 0.3692$$

$$VI_2 = (0.0226 \times 15) \times 1 = 0.3386$$

$$VI_3 = (0.0208 \times 15) \times 1 = 0.3126$$

$$VI = 1.0136 \text{ m}^3$$

VOLUMEN APLICADO (V_a)

$$V_a = Q_e \times t$$

Donde:

Q_e = Caudal de entrada al surco (0.5 l/s)

t = tiempo de riego (1780.92 s)

Reemplazando valores:

$$V_a = 0.5 \times 1780.92 = 0.8905 \text{ m}^3$$

LAMINA DE RIEGO.

La lámina requerida por el cultivo o lámina de riego como ya se mencionó en marco teórico, es la cantidad de agua que requiere el cultivo para satisfacer sus necesidades en el momento de riego.

Por los criterios explicados en Diseño Agronómico tuvimos tres laminas que son; 6.67 mm, 13.34mm, 26.68 mm, para el calculo de la eficiencia de riego optamos por el promedio de las tres laminas netas mencionadas, que fue 15.56 mm. Expresado en metros vendría a ser 0.0156 m

LAMINA PERCOLADA.(L_p)

La lamina de agua perlada mas allá de la zona radicular, queda definida por la diferencia de la lamina en cada tramo y la lamina de riego, $L_i > L_r$

- $Lp1 = 0.0246 - 0.0156 = 0.0091$
- $Lp2 = 0.0226 - 0.0156 = 0.0070$
- $Lp3 = 0.0208 - 0.0156 = 0.0053$

VOLUMEN PERCOLADO

Los volúmenes percolados se obtienen multiplicando el área percolada por el ancho de surco (1m)

Cuadro 28: Calculo del indicador de eficiencia de aplicación

Tramo y Long. de surco (m)	Volumen infiltrado (m3)	Volumen aplicado (m3)	Lámina de riego (m)	Lámina percolada (m)	Área percolada (m2)	Volumen percolado (m3)	Volumen útil (m3)	Eficiencia de aplicación (%)
15	0.3692	0.8905	0.0156	0.0091	0.1358	0.1358	0.5420	60.87
15	0.3386			0.0070	0.1205	0.1205		
15	0.3126			0.0053	0.0922	0.0922		
TOTAL	1.0204		TOTAL	0.0213	TOTAL	0.3485		

Fuente. Elaboración propia

ÁREA PERCOLADO.-

$$Ap1 = Lp1 \times \text{tramo de surco}$$

$$Ap2 = (Lp1 + Lp2) \times \text{tramo del surco} / 2$$

$$Ap3 = (Lp2 + Lp3) \times \text{tramo de surco} / 2$$

VOLUMEN UTIL.

$$Vu = Va - Vp.$$

$$Vu = 0.8905 - 0.3585 = 0.5420.$$

EFICIENCIA DE APLICACIÓN (Ea)

$$Ea = (Vu / Va) \times 100$$

$$Ea = (0.5420 / 0.8905) \times 100 = 60.87 \%$$

La eficiencia de aplicación obtenida en campo fue de 60.87 % esta se presenta como elevada con respecto al promedio de 30 % de eficiencia del riego por surcos tradicional citada en la bibliografía.

6.7. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO DE PAPA

El periodo vegetativo total del cultivo de papa fue de 165 días desde el 02 de octubre de 2014 hasta el 15 de marzo de 2015.

El consumo diario promedio para los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo fueron 1.90, 2.84, 2.17, 2.41, 2.17, 1.94 mm respectivamente.

La demanda hídrica total del cultivo de papa fue de 374.93 mm que significó un consumo total de agua de 3749.3 m³/ha de las cuales 1483.6 m³ fueron aplicados como agua de riego, lo demás fue satisfecha por las precipitaciones.

Cuadro 29. Cálculo de la demanda hídrica del cultivo de papa durante su etapa de desarrollo

Mes	Número de días	Consumo diario promedio (mm)	Demanda hídrica por mes (mm)	Demanda hídrica total (mm)	Demanda hídrica total (m ³ /ha)
Octubre	29	1.9	57.1	374.93	3749.3
Noviembre	30	2.84	85.22		
Diciembre	31	2.17	67.12		
Enero	31	2.41	75.47		
Febrero	28	2.17	60.88		
Marzo	15	1.94	29.14		

Fuente. Elaboración propia

La cantidad de agua de 3749.3 m³/ha, significó que es el total de volumen de agua que debe ser aplicado para obtener rendimientos que nos sean afectados por el estrés hídrico al que puede ser sometido el cultivo durante su etapa de desarrollo productivo,

6.8. RESULTADOS DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PAPA MEDIANTE EL RIEGO SEMI-AUTOMATIZADO POR SURCOS

Para la obtención de rendimiento del cultivo de papa se procedió mediante de dos métodos que son:

METODO 1.- Método peso unitario.

Se sortearon de los treinta surcos 10 surcos, y de cada surco ya sorteado se tomaron 6 muestras, es decir se procedió a pesar 6 Plantas de papa por surco, de esa manera se obtuvo un total de 60 muestras.

Cuadro 30. Peso de las muestras de los tubérculo del cultivo de papa

Numero de surco	Peso de planta 1.(kl)	Peso de planta 2. (kl)	peso de planta 3.(kl)	Peso de planta 4. (kl)	Peso de planta 5.(kl)	Peso de planta 6.(kl)	Sumatoria (kl)	Promedio
1	1.5	2.4	1.8	1.9	2.2	1.8	11.6	1.933
2	1.9	2	2.1	1.8	1.7	2.3	11.8	1.967
3	2.1	1.8	1.8	2	1.9	2.1	11.7	1.950
4	1.9	2.3	1.8	2	2.1	1.6	11.7	1.950
5	1.9	2.2	1.9	2.3	2.1	1.7	12.1	2.017
6	2.3	1.7	2.5	2.4	2.1	2.2	13.2	2.200
7	2.8	1.6	1.8	2.3	1.6	2.1	12.2	2.033
8	1.9	1.8	2.1	2.4	1.9	2.1	12.2	2.033
9	1.7	1.6	2.2	2	1.8	2.3	11.6	1.933
10	1.8	2.1	2.3	1.6	2.3	2.1	12.2	2.033
TOTAL							120.3	2.0050

Fuente: Elaboración propia

De las muestras que presentamos lo llevamos a un análisis estadístico obteniendo de esa manera los siguientes resultados.

Cuadro 31. Datos estadísticos

Datos	Peso (gr)
Límite superior	2.8
Media	2.005
Límite inferior	1.5
Desviación estándar	0.268

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo de esa manera un peso superior de 2.8 kg y un peso inferior de 1.5 kg, con un promedio de peso de 2.005 kg/planta. Con los resultados obtenidos en la prueba de rendimiento promedio por planta que fue igual a 2.005 Kg se procedió a realizar el cálculo por el número total de plantas en el área de 1200 m² calculada a continuación:

Cuadro 32. Proyección al área trabajada

Área total	Distancia entre surcos (m)	Distancia entre plantas (m)	Área de cada planta (m ²)	Numero Plantas /1200 m ²	Peso promedio planta (Kg)	Peso promedio total (Kg)
1200	1	0,4	0,4	3000	2,005	6015

Fuente: Elaboración propia por el método de peso por área

METODO 02.- Peso por área.

También se realizó la determinación del rendimiento del cultivo mediante el método peso – área, para lo cual se procedió a marcar un área de 40 m² y determinar el peso de los tubérculos cosechados, para calcular la proyección del peso en el área de estudio de 1200 m² los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 33. Datos estadísticos método peso por área

Área de la muestra (m ²)	40
Peso (kg)	195
Área de estudio (m ²)	1200
Peso/1200 m ² (Kg)	5850

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo de esta manera un peso de 5850 kg/1200 m², que si procedemos a comparar con el primer método encontramos que hay una diferencia de 165 kg, lo que nos indica que el peso por 1200 m² esta entre 5850 y 6015 kg.

VII. CONCLUSIONES

1. Con ayuda de la sistematización método de cuadrados mínimos se obtuvo un perfil longitudinal con una pendiente uniforme de 1.30 % en dirección paralela a los surcos, con un largo de surco de 40 m y un tiempo de aplicación 27.3 minutos como máximo, se aplicó una lámina promedio de 22.76 mm, que contó con una lámina en la cabecera de 24.6 mm, a la mitad de 22.6 mm y al final del surco con 20.8 mm con los cuales se obtuvo una eficiencia de aplicación de 60.87%.
2. Para evitar las pérdidas por percolación y lixiviación se calculó el caudal máximo no erosivo de 0.5 l/s, además de determinar 3 láminas netas de riego con profundidades radiculares de 10, 20, 40, cm que corresponden a 16.67 mm para los primeros 30 días, 33.34 para los siguientes 30 días, y por último una lámina neta de 66.68 mm 105 días restantes, esto debido a que el cultivo de papa no cuenta con una misma profundidad radicular a lo largo de todo su ciclo fenológico.
3. Con la ayuda del Tanque Clase A y la planilla de manejo de riego se calculó la demanda hídrica del cultivo de papa de 374.93 mm lo que significa 3749.3 m³/ha, el cual es requerido durante una etapa de desarrollo de 165 días. El cálculo de la demanda hídrica se realizó desde la siembra de la semilla agronómica de papa.
4. El equipamiento de fertirriego permitió la incorporación de fertilizantes químicos solubles en agua de manera parcelada en cada riego con una reducción de mano de obra significativa.
5. El rendimiento del cultivo de papa fue determinado mediante dos métodos; primero se obtuvo un promedio de peso por planta de 2.005 kg, lo que significa un rendimiento promedio de 6015 kg en 3000 plantas/1200 m², el cual proyectado a la hectárea resulta un rendimiento de 50.125 tn/ha.
Segundo método (peso - área) se obtuvo un resultado de 195 kg/40 m² lo cual proyectado al área trabajada de 1200 m² fue de 5850 kg, lo que nos indicó un rendimiento de 48.750 tn/ha

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los estudiantes, profesionales e investigadores, que para posteriores trabajos de sistematización de suelos por el método de cuadrados mínimos, realizar los trabajos de movimiento de tierra utilizar la maquinaria que se acomode a la cantidad de tierra movida cuando estas sean volúmenes relativamente pequeños se puede utilizar una rastra.
2. Se recomienda realizar el trabajo de surcado del terreno con un operario experto para garantizar un adecuado alineamiento y horizontalidad de los surcos y la distribución del agua sea más uniforme en toda su longitud.
3. Se recomienda, que para la incorporación de fertilizantes fosfóricos mediante este método de riego, se debe de realizarlo con previa disolución del fertilizante en un balde para garantizar una adecuada mezcla entre el fertilizante y el agua.
4. Se recomienda, para todo diseño de sistemas de riego por surcos, realizar la prueba de infiltración por el método de entradas y salidas por tomarse en consideración el movimiento horizontal del agua en el suelo.
5. Se recomienda, realizar el desmalezado del terreno antes que las malezas emitan sus semillas para tener un mejor control cultural debido a que cuando se vaya a realizar las fertirrigaciones, las malezas desarrollaran rápidamente dificultando en control de las mismas.
6. Se recomienda, la obtención de muestras de suelo con bastante cuidado para determinar los contenidos de humedad antes y después del riego, estas deben ser llevadas al laboratorio inmediatamente de terminado el muestreo.

IX. BIBLIOGRAFIA.

1. BACA G, Carlos Jesús. 2010. Manual técnico de riego presurizado.
2. BACA G, Carlos Jesús. 2013. Principios de irrigación. Curso universitario.
3. CARBAJAL LLOSA, C. 2004. Metodología para el mejoramiento del uso del agua de riego empleando el sistema de riego intermitente. Tesis (magíster scientiae). Lima, Perú
4. CASTAÑÓN G. 2000. Ingeniería Del Riego. Utilización Racional del Agua. Thomson Editores Spain Paraninfo S.A. Madrid – España.
5. CALDERÓN CH, Arcadio. 1992. Edafología. Curso Universitario. Facultad de Agronomía y Zootecnia - UNSAAC-Cusco.
6. CISNEROS A, Rodolfo. 2003. Apuntes de la materia riego y drenaje.
7. EGUSQUIZA B, Rolando. 2008. La papa producción, transformación y comercialización.
8. EGUSQUIZA B, Rolando y CATALAN B, Wilfredo. 2011. Guia técnica curso-taller Manejo integrado de papa. UNALM – AGROBANCO.
9. FAO, 2008. Año internacional de la papa.
10. FAO, 2006. Boletín 56 estudio riego y drenaje.
11. FERNANDEZ G, Rafael. 2010. Manual de riego para agricultores. Módulo 2. Riego por superficie.
12. FONSECA S, Claudinei. 1997. Desempenho do regime de vazao continuamente reduzida en irrigacao por sulcos.
13. FUENTES Y, José Luis. 2003. Técnicas de riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
14. GARAY C, Oscar. 2009. Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los andes centrales peruanos.
15. GUEVARA C, Venancio. 1995. Relación Suelo-Agua-Planta. Curso Universitario. Facultad de Agronomía y Zootecnia - UNSAAC-Cusco.
16. GUROVICH R, Luis. 1999. Riego superficial tecnificado. Editorial. Alfaomega. México D.F.
17. JIMÉNEZ A, Catalina. 2010. Tuberosas y raíces. Texto universitario

FAZ- UNSAAC - Cusco.

18. KEMPER, W., & KINCAID, D. 1982. Cablegation II. Simulation and design of the moving-plugged pipe irrigation system.
19. KINCAID, D., & KEMPER, W. 1982. Cablegation II. Simulation and Design of the Moving-Plug Gated Pipe Irrigation System (Vol. 25). (A. S. Engineers, Ed.) St. Joseph, Michigan, USA: Transactions of the ASAE.
20. LADRÓN DE GUEVARA R, Oscar 2005. Introducción a la climatología y fenología agrícola. Editorial Universitaria – UNSAAC.
21. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Eficiencia del uso del agua en el cultivo de papa. PSI.
22. NARRO F, Eduardo. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas S.A. de C.V - México.
23. OLARTE H, Walter. 2002. Manual Diseño y Gestión de Sistema de Riego Por Aspersión en Laderas.
24. OLARTE HURTADO, W. QUISPE VERGARA, R. 2006. Eficiencias de riego parcelario andino por gravedad. IIUR
25. ORTIZ V.B. Y ORTIZ S. C.A. 1988. Edafología. Chapingo, México.
26. PASCUAL, Bernardo. 2008. Riegos de gravedad y aspersión. Edit. Alfaomega. Universidad Politécnica de Valencia. España.
27. PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES. 2005. Manual de hidrometría.
28. RIEGO EN LA REGIÓN CUSCO, 2012. I Simposio de Riego Tecnificado en la Sierra Peruana. Editorial Súper Grafica E.I.R.L. Lima-Perú.
29. ROSATTO, H. et. al. 2009. Sistematización de suelos: eficiencia en la ejecución del proyecto en suelos complejos.
30. SALASSIER, Bernardo. 1995. Manual de irrigação. Imprensa Universitária. UFV. 657p. Brasil.
31. SANCHEZ, R., Cristian. 2005. Sistemas de riego Uso, manejo e instalación.
32. SANTOS, P. Luis. 2010. El riego y sus tecnologías. Editorial. CREA-UCLM. España.
33. SCALOPPI, E José. 2003. Irrigação por superfície. Serie Engenharia Agrícola vol. 2. Sao Paulo, Brasil.

34. SCALOPPI, E José. 2011. Boletín "Sistemas de irrigacao alternativos de baixocusto" Sao Paulo, Brasil.
35. SCHILARDI, Carlos. 2010. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del rio Tuyunan superior. Mendoza, Argentina
36. TROUT, T., & KINCAID, D. 1993. Cablegationevaluationmethodology. Kymberly, Idaho, USA: ASAE.
37. VAN DER ZEL, Humberto. 1989. Riego en la sierra. Cusco – Perú.
38. VILLÓN B, Máximo. 2002. Hidrología agrícola. Editorial. Villón. Lima-Perú
39. WORSTELL, R., KEMPER, W., & KINCAID, D. 1981. Automated cable control irrigationsystem. (USDA, Ed.) Kimberly, Idaho, USA.

X ANEXOS

PLANILLA DE SISTEMATIZACION DE SUELOS

REGION : Cusco
 PROVINCIA : Cusco
 DISTRITO : San Jerónimo
 LOCALIDAD : Centro Agronomico K'ayra

Nº : 1
 METODO : Cuadrados mínimos
 TEXTURA : Franco
 FECHA : 07-may-15

DATOS DE COTAS ORIGINALES OBTENIDAS EN CAMPO

		EJE Y								
I/J	1	2	3	4	5	6	7	Σ	X	
1	3235,520	3235,350	3235,220	3235,010	3234,870	3234,790	3234,580	22645,340	3235,049	
2	3235,410	3235,220	3235,060	3234,880	3234,710	3234,550	3234,390	22644,220	3234,889	
3	3235,290	3238,130	3234,930	3234,750	3234,570	3234,380	3234,200	22646,250	3235,179	
4	3235,200	3234,990	3234,800	3234,620	3234,440	3234,250	3234,050	22642,350	3234,621	
5	3235,050	3234,870	3234,690	3234,500	3234,290	3234,120	3233,930	22641,450	3234,493	
6	3234,960	3234,760	3234,570	3234,370	3234,180	3233,990	3233,840	22640,670	3234,381	
7	3234,850	3234,640	3234,450	3234,230	3234,860	3233,890	3233,720	22640,640	3234,377	
8	3234,720	3234,520	3234,310	3234,010	3233,920	3233,760	3233,590	22638,830	3234,119	
9	3234,640	3234,410	3234,190	3233,980	3233,750	3233,610	3233,450	22638,030	3234,004	
Σ	29115,640	29116,890	29112,220	29110,350	29109,590	29107,340	29105,750			
X	3235,071	3235,210	3234,691	3234,483	3234,399	3234,149	3233,972			

CALCULO DEL COEFICIENTE ANGULAR EJE X (b)

Σ(h)=	145547,23
Σj=	45
m=	9
Σh=	29111,111
ΣP=	285
(Σj)²=	2025

b= -0,138833333
 %= -1,388333333

Cota centroide = 3234,56794

Coordenadas centroide	
Xc=	5
Yc=	4

CALCULO DEL COEFICIENTE ANGULAR EJE Y (c)

Σ(h)=	90562,191
Σj=	28
n=	7
Σh=	22641,976
Σj²=	140
(Σj)²=	784

c= -0,203968254
 %= -2,03968254

PLANILLA DE SISTEMATIZACION DE TERRENOS

REGION : Cusco **N° :** 2
PROVINCIA : Cusco **METODO :** Cuadrados mínimos
DISTRITO: San Jerónimo **TEXTURA :** Franco
LOCALIDAD : Centro Agronomico K'ayra **FECHA :** 07-may-15

OBTENCION DE COTAS CALCULADAS

COORDENADAS DEL CENTROIDE

Xc=
 Yc=

COTA CENTROIDE

H(xc,yc)=

COTA PUNTO DE ORIGEN

a=

DESNIVELES DE LOS EJES A PARTIR DEL PUNTO DE ORIGEN/10 m

b=

c=

COTAS CALCULADAS

EJE Y

EJE X

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	3235,735	3235,531	3235,327	3235,123	3234,919	3234,715	3234,511
2	3235,596	3235,392	3235,188	3234,984	3234,780	3234,577	3234,373
3	3235,458	3235,254	3235,050	3234,846	3234,642	3234,438	3234,234
4	3235,319	3235,115	3234,911	3234,707	3234,503	3234,299	3234,095
5	3235,180	3234,976	3234,772	3234,568	3234,364	3234,160	3233,956
6	3235,041	3234,837	3234,633	3234,429	3234,225	3234,021	3233,817
7	3234,902	3234,698	3234,494	3234,290	3234,086	3233,882	3233,678
8	3234,763	3234,559	3234,355	3234,151	3233,947	3233,744	3233,540
9	3234,625	3234,421	3234,217	3234,013	3233,809	3233,605	3233,401

PLANILLA DE SISTEMATIZACION DE TERRENOS

REGION : Cusco
 PROVINCIA : Cusco
 DISTRITO : San Jerónimo
 LOCALIDAD : Centro Agronomico K'ayra

Nº : 3
 METODO : Cuadrados mínimos
 TEXTURA : Franco
 FECHA : 07-may-15

CALCULO DE CORTES (-) Y RELLENOS (+)

EJE Y

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	0,215	0,181	0,107	0,543	0,049	-0,075	-0,069
2	0,186	0,172	0,128	0,594	0,070	0,026	-0,017
3	0,168	-2,876	0,120	0,646	0,072	0,058	0,034
4	0,119	0,125	0,111	0,657	0,063	0,049	0,045
5	0,130	0,106	0,082	0,638	0,074	0,040	0,026
6	0,081	0,077	0,063	0,589	0,045	0,031	-0,023
7	0,052	0,058	0,044	0,570	-0,774	-0,008	-0,042
8	0,043	0,039	0,045	0,561	0,027	-0,016	-0,050
9	-0,015	0,011	0,027	0,563	0,059	-0,005	-0,049

EJE X

CORTE= 4,020 m
 RELLENO= 8,620 m

C/R = 0,47

AJUSTE DE CORTE Y RELLENO

$\Delta = 0,14117953$ m

CORTE= 6,985 m
 RELLENO= 5,573 m

C/R = 1,30

AJUSTE DE CORTES (-) Y RELLENOS (+)

EJE Y

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1	0,074	0,040	-0,034	0,402	-0,092	-0,216	-0,210
2	0,045	0,031	-0,013	0,453	-0,071	-0,115	-0,159
3	0,026	-3,018	-0,022	0,504	-0,070	-0,084	-0,107
4	-0,023	-0,016	-0,030	0,516	-0,078	-0,092	-0,096
5	-0,011	-0,035	-0,059	0,497	-0,067	-0,101	-0,115
6	-0,060	-0,064	-0,078	0,448	-0,096	-0,110	-0,164
7	-0,089	-0,083	-0,097	0,429	-0,915	-0,149	-0,183
8	-0,098	-0,102	-0,096	0,420	-0,114	-0,158	-0,192
9	-0,157	-0,131	-0,115	0,421	-0,083	-0,147	-0,190

EJE X

PLANILLA DE SISTEMATIZACION DE TERRENOS

REGION : Cusco

Nº : 4

PROVINCIA : Cusco

METODO : Cuadrados mínimos

DISTRITO : San Jerónimo

TEXTURA : Franco

LOCALIDAD : Centro Agronomico K'ayra

FECHA : 07-may-15

CALCULO DE VOLUMEN (m3) DE MOVIMIENTO DE TIERRAS POR ESTACAS

		EJE Y					
EJE X	i/j	1	2	3	4	5	6
	1	1,850	1,001	-0,849	10,052	-2,297	-5,396
	2	1,129	0,780	-0,319	11,331	-1,768	-2,867
	3	0,658	-75,441	-0,540	12,611	-1,739	-2,088
	4	-0,563	-0,412	-0,761	12,890	-1,959	-2,309
	5	-0,283	-0,883	-1,482	12,419	-1,680	-2,529
	6	-1,504	-1,603	-1,953	11,198	-2,401	-2,750
	7	-2,225	-2,074	-2,424	10,727	-22,872	-3,721
	8	-2,446	-2,545	-2,394	10,506	-2,843	-3,942
	9	-3,917	-3,266	-2,865	10,536	-2,064	-3,663

VOLUMEN TOTAL (m3) AJUSTADO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

CORTE= 215,046 m3
RELLENO= 107,688 m3

CAR 2,00

PRUEBAS DE AVANCE

Proyecto : Optimización de la eficiencia de aplicación mediante el riego semi-automatizado por surcos
 Cultivo: Papa var. Ñusta-CICA

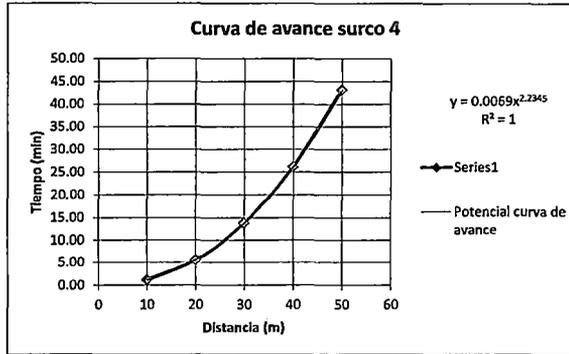
Localidad: C. A. K'ayra

Distrito: San Jerónimo

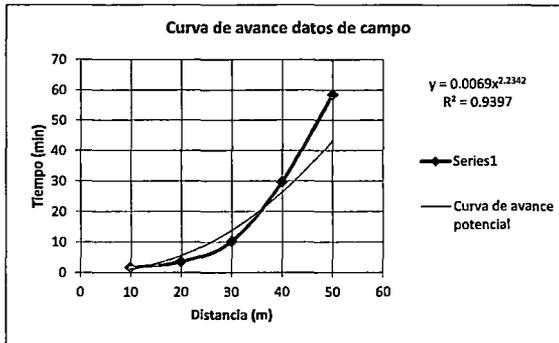
Sector: Parcela C-2

TIEMPOS DE AVANCES AJUSTADOS CON UNA ECUACIÓN DEL TIPO POTENCIAL-SURCO 4

Distancia (m)	Tiempo (min)
10	1.18
20	5.57
30	13.79
40	26.22
50	43.17



Distancia (m)	Tiempo (min)
10	1.67
20	3.55
30	10.25
40	29.68
50	58.53



DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION POR EL METODO "ENTRADA-SALIDA" DEL AGUA EN EL SURCO							
TIEMPO		Estaca A		Estaca B		Veloc. de infiltracion	
HORA	Tiempo acumulado (min)	Carga (cm)	Caudal (L/min)	Carga (cm)	Caudal (L/min)	L/min en 20m	mm/h
13:45	0	0.60	36	-	-	-	-
13:51	6	0.60	36	0.45	27	9	13.50
13:56	11	0.70	42	0.43	26	16	24.30
14:01	16	0.70	42	0.43	26	16	24.30
14:06	21	0.71	43	0.47	28	14	21.60
14:11	26	0.69	41	0.48	29	13	18.90
14:16	31	0.70	42	0.49	29	13	18.90
14:21	36	0.70	42	0.51	31	11	17.10
14:26	41	0.71	43	0.51	31	12	18.00
14:31	46	0.71	43	0.51	31	12	18.00
14:36	51	0.71	43	0.51	31	12	18.00

PRUEBAS DE AVANCE

Proyecto : Optimización de la eficiencia de aplicación de agua mediante el riego semi-automatizado por surcos

Cultivo: Papa var. Ñusta-CICA

Distrito: San Jerónimo

Localidad: C. A. K'ayra

Sector: Parcela C-2

Cuadro de datos obtenidos de la prueba de avance en campo

Surco:	1	Surco:	2	Surco:	3	Surco:	4
Caudal (l/s):	1,22	Caudal (l/s):	1	Caudal (l/s):	0,8	Caudal (l/s):	0,5
Distancia (m)	Tiempo (min)						
10	0,8	10	0,91	10	1,23	10	1,67
20	2,15	20	2,12	20	2,09	20	3,55
30	9,25	30	9,50	30	9,34	30	10,25
40	24,75	40	24,10	40	25,45	40	29,68
50	40,5	50	45,12	50	49,78	50	58,53

PLANILLA DE CALCULO DE MANEJO DE RIEGO CON 10 cm DE PROFUNDIDAD RADICULAR

PLANILLA DE CALCULO-MANEJO DE RIEGO-2014

Provincia:		Cusco			Ln (Inicio):		16,67 mm		Area del terreno: Cultivo:		1200 m2		INDICADORES		
Distrito:		San Jeronimo			Ln(fin):		10,00 mm		Responsables: Tecnico:		papa				
Lugar:		C.A. K'ayra			Eficiencia:		60,87%				Amellhs Gamarra Cardenas				
Sector:		Potrero C-2			Fecha de siembra:		02/10/2014				Hugo salvador Holgado Pillco				
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13		
DDS	V(m/s)	HR %	Kp	Evaporacion (mm)	Eto	Kc	ETc (mm)	Ganancia de agua		Riego necesario (mm)	Riego a aplicar (mm)	Consumo de agua			
								Precip. Efec. (mm)	Prec. 75%			Inicio	Fin		
02/10/2014	1	1,0	63	0,80	3,40	2,72	0,8	2,18					16,67	14,49	CC
03/10/2014	2	2,7	56	0,75	3,45	2,59	0,8	2,07					14,49	12,42	NO IRRIGAR
04/10/2014	3	2,0	62	0,75	3,23	2,42	0,8	1,94					12,42	10,49	IRRIGAR
05/10/2014	4	1,3	63	0,80	4,56	3,65	0,8	2,92			6,18	10,15	10,49	16,67	NO IRRIGAR
06/10/2014	5	3,3	61	0,75	2,34	1,76	0,8	1,40					16,67	15,27	CC
07/10/2014	6	6,3	59	0,65	3,34	2,17	0,8	1,74					15,27	13,53	NO IRRIGAR
08/10/2014	7	3,0	67	0,75	1,50	1,13	0,8	0,90	21,8	16,35			13,53	12,63	NO IRRIGAR
09/10/2014	8	1,7	63	0,80	3,12	2,50	0,8	2,00					16,67	14,67	CC
10/10/2014	9	4,3	61	0,75	2,11	2,65	0,8	2,12					14,67	12,55	NO IRRIGAR
11/10/2014	10	7,0	64	0,65	4,20	2,73	0,8	2,18					12,55	10,37	IRRIGAR
12/10/2014	11	5,0	61	0,65	3,71	2,41	0,8	1,93			6,3	10,35	10,37	16,67	NO IRRIGAR
13/10/2014	12	4,0	67	0,75	4,80	3,60	0,8	2,88					16,67	13,79	CC
14/10/2014	13	10,7	58	0,60	3,76	2,26	0,8	1,80					13,79	11,99	NO IRRIGAR
15/10/2014	14	4,0	63	0,75	2,83	2,12	0,8	1,70					11,99	10,29	IRRIGAR
16/10/2014	15	9,0	59	0,60	3,35	2,01	0,8	1,61			6,38	10,48	10,29	16,67	NO IRRIGAR
17/10/2014	16	6,7	62	0,65	2,57	1,67	0,8	1,34					16,67	15,33	CC
18/10/2014	17	2,7	60	0,75	2,39	1,79	0,8	1,43					15,33	13,90	NO IRRIGAR
19/10/2014	18	3,0	64	0,75	3,45	2,59	0,8	2,07					13,90	11,83	IRRIGAR
20/10/2014	19	4,0	65	0,75	3,23	2,42	0,8	1,94			4,84	7,95	11,83	16,67	NO IRRIGAR
21/10/2014	20	2,7	60	0,75	2,11	1,58	0,8	1,27	11,9	8,925			16,67	15,40	CC
22/10/2014	21	3,3	65	0,75	2,33	1,75	0,8	1,40					16,67	15,27	CC
23/10/2014	22	2,0	61	0,75	3,01	2,26	0,8	1,81	14,5	10,875			15,27	13,47	NO IRRIGAR
24/10/2014	23	1,0	61	0,80	3,05	2,44	0,8	1,95	8,7	6,525			16,67	14,72	CC
25/10/2014	24	0,7	68	0,80	2,03	1,62	0,8	1,30	9,4	7,05			14,72	13,42	NO IRRIGAR
26/10/2014	25	1,7	56	0,80	3,41	2,73	0,8	2,18					16,67	14,49	CC
27/10/2014	26	2,0	58	0,75	3,51	2,63	0,8	2,11					14,49	12,38	NO IRRIGAR
28/10/2014	27	1,7	58	0,80	2,85	2,28	0,8	1,82					12,38	10,56	IRRIGAR
29/10/2014	28	2,0	63	0,75	4,50	3,38	0,8	2,70			6,11	10,04	10,56	16,67	NO IRRIGAR
30/10/2014	29	1,7	64	0,80	4,60	3,68	0,8	2,94					16,67	13,73	CC
31/10/2014	30	1,0	59	0,80	2,32	1,86	0,8	1,48					13,73	12,24	NO IRRIGAR

PLANILLA DE CALCULO-MANEJO DE RIEGO-2014

Provincia:	Cusco	Ln (Inicio) :	33,34 mm	Area del terreno:	1200 m2
Distrito:	San Jeronimo	Ln(fin):	20,00 mm	Cultivo:	papa
Lugar:	C.A. K'ayra	Eficiencia:	60,87%	Responsables:	Amellhs Gamarra Cardenas
Sector:	Potrero C-2	Fecha de	02/10/2014	Tecnico:	Hugo salvador Holgado Pillco

		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
		Ganancia de agua										Consumo de agua		INDICADORES		
DDS	V(m/s)	HR %	Kp	Evaporacion (mm)	Eto	Kc	ETc (mm)	Precip. Efec. (mm)	Prec. 75%	Riego necesario (mm)	Riego a aplicar (mm)	Inicio	Fin			
01/11/2014	31	1,7	57	0,80	3,40	2,72	1,10	2,99		21,1	34,66	12,24	9,25		IRRIGAR	
02/11/2014	32	1,3	54	0,80	3,45	2,76	1,10	3,04				33,34	30,30	C.C		
03/11/2014	33	1,0	59	0,80	3,23	2,58	1,10	2,84				30,30	27,46	NO IRRIGAR		
04/11/2014	34	4,0	60	0,75	4,56	3,42	1,10	3,76				27,46	23,70	NO IRRIGAR		
05/11/2014	35	4,7	61	0,75	2,34	1,76	1,10	1,93				23,70	21,77	IRRIGAR		
06/11/2014	36	1,0	63	0,80	3,67	2,94	1,10	3,23		11,57	19,01	21,77	33,34	NO IRRIGAR		
07/11/2014	37	1,0	59	0,80	1,34	1,07	1,10	1,18	21,8	16,35		33,34	32,16	C.C		
08/11/2014	38	7,7	57	0,65	3,12	2,03	1,10	2,23				33,34	31,11	C.C		
09/11/2014	39	3,0	61	0,75	2,11	1,58	1,10	1,74				31,11	29,37	NO IRRIGAR		
10/11/2014	40	1,0	62	0,80	4,20	3,36	1,10	3,70				29,37	25,67	NO IRRIGAR		
11/11/2014	41	1,0	59	0,80	3,71	2,97	1,10	3,26				25,67	22,41	IRRIGAR		
12/11/2014	42	3,0	59	0,75	4,80	3,60	1,10	3,96		10,93	17,96	22,41	33,34	NO IRRIGAR		
13/11/2014	43	2,0	57	0,75	3,76	2,82	1,10	3,10				33,34	30,24	C.C		
14/11/2014	44	4,0	52	0,75	4,00	3,00	1,10	3,30				30,24	26,94	NO IRRIGAR		
15/11/2014	45	0,0	60	0,80	4,15	3,32	1,10	3,65				26,94	23,29	NO IRRIGAR		
16/11/2014	46	8,5	62	0,60	2,95	1,77	1,10	1,95				23,29	21,34	IRRIGAR		
17/11/2014	47	7,5	61	0,65	5,20	3,38	1,10	3,72		12	19,71	21,34	33,34	NO IRRIGAR		
18/11/2014	48	5,5	54	0,65	3,60	2,34	1,10	2,57	4	3		33,34	30,77	C.C		
19/11/2014	49	5,0	59	0,75	2,10	1,58	1,10	1,73				30,77	29,03	NO IRRIGAR		
20/11/2014	50	6,0	62	0,65	4,80	3,12	1,10	3,43	0,9	0,675		29,71	26,28	NO IRRIGAR		
21/11/2014	51	5,5	62	0,65	2,25	1,46	1,10	1,61				26,28	24,67	NO IRRIGAR		
22/11/2014	52	12,0	60	0,60	4,70	2,82	1,10	3,10				24,67	21,57	IRRIGAR		
23/11/2014	53	6,0	63	0,65	2,85	1,85	1,10	2,04		11,77	19,34	21,57	33,34	NO IRRIGAR		
24/11/2014	54	3,5	58	0,75	3,62	2,72	1,10	2,99				33,34	30,35	C.C		
25/11/2014	55	9,0	59	0,60	1,85	1,11	1,10	1,22				30,35	29,13	NO IRRIGAR		
26/11/2014	56	10,0	61	0,60	3,25	1,95	1,10	2,15				29,13	26,99	NO IRRIGAR		
27/11/2014	57	3,0	62	0,75	4,95	3,71	1,10	4,08				26,99	22,90	NO IRRIGAR		
28/11/2014	58	5,0	59	0,75	3,37	2,53	1,10	2,78				22,90	20,12	IRRIGAR		
29/11/2014	59	8,0	62	0,65	5,40	3,51	1,10	3,86		13,22	21,72	20,12	33,34	NO IRRIGAR		
30/11/2014	60	5,5	62	0,65	5,70	3,71	1,10	4,08				33,34	29,26	C.C		

PLANILLA DE CALCULO-MANEJO DE RIEGO-2014

Provincia:	Cusco			Ln (Inicio) :	66,68 mm		Area del terreno:	1200 m2	
Distrito:	San Jeronimo			Ln(fin):	40,00 mm		Cultivo:	papa	
Lugar:	C.A. K'ayra			Eficiencia:	60,87%		Responsables:	Amellhs Gamarra Cardenas	
Sector:	Potrero C-2			Fecha de	02/10/2014		Tecnico:	Hugo salvador Holgado Pillico	

DDS	V(m/s)	HR %	Kp	Evaporacion (mm)	Eto	Kc	ETc (mm)	Ganancia de agua				Consumo de agua		INDICADORES	
								Precip. Efec. (mm)	Prec. 75%	Riego necesario (mm)	Riego a aplicar (mm)	Inicio	Fin		
01/12/2014	61	6,0	60	0,65	3,99	2,59	1,2	3,11	4,48	3,4	37,88	62,23	29,26	26,15	IRRIGAR
02/12/2014	62	7,0	63	0,65	2,09	1,36	1,2	1,63	9,00				60,68	59,05	NO IRRIGAR
03/12/2014	63	12,0	63	0,60	2,09	1,25	1,2	1,50	2,80	2,1			61,15	59,65	NO IRRIGAR
04/12/2014	64	7,0	63	0,65	2,34	1,52	1,2	1,83					59,65	57,82	NO IRRIGAR
05/12/2014	65	12,0	62	0,60	2,80	1,68	1,2	2,02					57,82	55,80	NO IRRIGAR
06/12/2014	66	4,5	60	0,65	2,40	1,56	1,2	1,87					55,80	53,93	NO IRRIGAR
07/12/2014	67	6,0	61	0,65	2,35	1,53	1,2	1,83	4,50	3,4			57,31	55,47	NO IRRIGAR
08/12/2014	68	5,5	63	0,65	2,62	1,70	1,2	2,04	0,70	0,5			56,00	53,96	NO IRRIGAR
09/12/2014	69	3,0	60	0,75	2,80	2,10	1,2	2,52	24,00	18,0			66,68	64,16	C.C
10/12/2014	70	8,0	60	0,65	2,29	1,49	1,2	1,79	3,70	2,8			66,68	64,89	C.C
11/12/2014	71	10,0	63	0,60	3,36	2,02	1,2	2,42					64,89	62,47	NO IRRIGAR
12/12/2014	72	3,0	60	0,75	2,90	2,18	1,2	2,61	3,00	2,3			64,72	62,11	NO IRRIGAR
13/12/2014	73	4,0	64	0,75	4,12	3,09	1,2	3,71	3,20	2,4			64,51	60,81	NO IRRIGAR
14/12/2014	74	9,0	60	0,60	1,90	1,14	1,2	1,37		0,0			60,81	59,44	NO IRRIGAR
15/12/2014	75	0,0	63	0,80	2,82	2,26	1,2	2,71	1,60	1,2			60,64	57,93	NO IRRIGAR
16/12/2014	76	7,0	64	0,65	3,58	2,33	1,2	2,79	1,20	0,9			58,83	56,04	NO IRRIGAR
17/12/2014	77	0,0	70	0,80	1,18	0,94	1,2	1,13	41,60	31,2			66,68	65,55	C.C
18/12/2014	78	4,5	67	0,75	2,22	1,67	1,2	2,00	1,80	1,4			66,68	64,68	C.C
19/12/2014	79	7,0	64	0,65	3,20	2,08	1,2	2,50	5,60	4,2			66,68	64,18	C.C
20/12/2014	80	6,0	63	0,65	3,20	2,08	1,2	2,50	15,90	11,9			66,68	64,18	C.C
21/12/2014	81	0,0	57	0,80	2,86	2,29	1,2	2,75					64,18	61,44	NO IRRIGAR
22/12/2014	82	5,0	64	0,75	1,82	1,37	1,2	1,64	3,20	2,4			63,84	62,20	NO IRRIGAR
23/12/2014	83	5,5	66	0,65	5,12	3,33	1,2	3,99					62,20	58,21	NO IRRIGAR
24/12/2014	84	7,0	64	0,65	3,94	2,56	1,2	3,07	1,20	0,9			59,11	56,03	NO IRRIGAR
25/12/2014	85	12,0	65	0,60	2,52	1,51	1,2	1,81	0,40	0,3			56,33	54,52	NO IRRIGAR
26/12/2014	86	12,0	61	0,60	1,38	0,83	1,2	0,99	10,40	7,8			62,32	61,33	NO IRRIGAR
27/12/2014	87	3,0	65	0,75	3,76	2,82	1,2	3,38	1,00	0,8			62,08	58,69	NO IRRIGAR
28/12/2014	88	6,0	69	0,65	1,66	1,08	1,2	1,29	1,90	1,4			60,12	58,82	NO IRRIGAR
29/12/2014	89	6,0	65	0,65	3,24	2,11	1,2	2,53	2,30	1,7			60,55	58,02	NO IRRIGAR
30/12/2014	90	14,0	64	0,60	0,26	0,16	1,2	0,19	3,50	2,6			60,64	60,46	NO IRRIGAR
31/12/2014	91	13,0	65	0,60	2,22	1,33	1,2	1,60	4,80	3,6			66,68	65,08	C.C
01/01/2015	92	4,0	68	0,75	0,42	0,32	1,2	0,38	3,90	2,9			66,68	66,30	C.C
02/01/2015	93	4,5	64	0,75	5,76	4,32	1,2	5,18	17,40	13,1			66,68	61,50	C.C
03/01/2015	94	9,0	67	0,60	2,44	1,46	1,2	1,76	1,40	1,1			66,68	64,92	C.C
04/01/2015	95	12,0	67	0,60	2,58	1,55	1,2	1,86	5,70	4,3			66,68	64,82	C.C
05/01/2015	96	5,5	69	0,65	2,60	1,69	1,2	2,03	0,30	0,2			66,68	64,65	C.C
06/01/2015	97	2,0	65	0,75	1,08	0,81	1,2	0,97	2,50	1,9			66,68	65,71	C.C
07/01/2015	98	0,0	64	0,80	3,00	2,40	1,2	2,88	1,40	1,1			66,68	63,80	C.C
08/01/2015	99	6,0	66	0,65	3,04	1,98	1,2	2,37		0,0			63,80	61,43	NO IRRIGAR
09/01/2015	100	0,0	61	0,85	2,92	2,48	1,2	2,98	1,50	1,1			66,68	63,70	C.C
10/01/2015	101	8,0	67	0,65	2,42	1,57	1,2	1,89	3,20	2,4			66,68	64,79	C.C
11/01/2015	102	8,0	65	0,65	2,36	1,53	1,2	1,84	14,00	10,5			66,68	64,84	C.C
12/01/2015	103	8,5	63	0,60	1,36	0,82	1,2	0,98	15,30	11,5			66,68	65,70	C.C
13/01/2015	104	0,0	65	0,80	4,22	3,38	1,2	4,05	2,00	1,5			66,68	62,63	C.C
14/01/2015	105	2,0	61	0,75	4,60	3,45	1,2	4,14		0,0			62,63	58,49	NO IRRIGAR
15/01/2015	106	12,0	63	0,60	2,20	1,32	1,2	1,58	6,50	4,9			66,68	65,10	C.C
16/01/2015	107	6,5	61	0,65	3,84	2,50	1,2	3,00		0,0			65,10	62,10	NO IRRIGAR

17/01/2015	108	5,0	62	0,65	5,20	3,38	1,2	4,06		0,0			66,68	62,62	C.C
18/01/2015	109	5,0	58	0,65	3,60	2,34	1,2	2,81	5,70	4,3			66,68	63,87	C.C
19/01/2015	110	3,0	62	0,75	0,68	0,51	1,2	0,61	22,50	16,9			66,68	66,07	C.C
20/01/2015	111	5,5	66	0,65	2,96	1,92	1,2	2,31	3,30	2,5			66,68	64,37	C.C
21/01/2015	112	12,0	61	0,60	3,32	1,99	1,2	2,39	2,40	1,8			66,68	64,29	C.C
22/01/2015	113	3,0	58	0,75	5,80	4,35	1,2	5,22		0,0			64,29	59,07	NO IRRIGAR
23/01/2015	114	6,0	65	0,65	4,24	2,76	1,2	3,31		0,0			59,07	55,76	NO IRRIGAR
24/01/2015	115	5,0	63	0,75	2,72	2,04	1,2	2,45	1,60	1,2			66,68	64,23	C.C
25/01/2015	116	0,0	61	0,80	1,08	0,86	1,2	1,04	21,00	15,8			66,68	65,64	C.C
26/01/2015	117	5,5	64	0,65	1,12	0,73	1,2	0,87	21,50	16,1			66,68	65,81	C.C
27/01/2015	118	2,0	69	0,75	2,30	1,73	1,2	2,07	9,60	7,2			66,68	64,61	C.C
28/01/2015	119	8,0	67	0,65	1,26	0,82	1,2	0,98	17,00	12,8			66,68	65,70	C.C
29/01/2015	120	5,0	64	0,75	4,42	3,32	1,2	3,98		0,0			66,68	62,70	C.C
30/01/2015	121	4,0	62	0,75	3,38	2,54	1,2	3,04	5,20	3,9			66,68	63,64	C.C
31/01/2015	122	4,0	64	0,75	2,72	2,04	1,2	2,45	3,50	2,6			66,68	64,23	C.C
01/02/2015	123	2,3	67	0,75	1,28	0,96	1,2	1,15					64,23	63,08	NO IRRIGAR
02/02/2015	124	4,7	69	0,75	3,35	2,51	1,2	3,02					63,08	60,07	NO IRRIGAR
03/02/2015	125	2,3	67	0,75	3,16	2,37	1,2	2,84					60,07	57,22	NO IRRIGAR
04/02/2015	126	0,0	69	0,80	3,78	3,02	1,2	3,63					57,22	53,59	NO IRRIGAR
05/02/2015	127	0,0	69	0,80	1,72	1,38	1,2	1,65					53,59	51,94	NO IRRIGAR
06/02/2015	128	4,3	68	0,75	1,55	1,16	1,2	1,40	1,00	0,8			52,69	51,30	NO IRRIGAR
07/02/2015	129	0,0	66	0,80	2,14	1,71	1,2	2,05	2,50	1,9			53,17	51,12	NO IRRIGAR
08/02/2015	130	4,0	68	0,75	2,24	1,68	1,2	2,02					51,12	49,10	NO IRRIGAR
09/02/2015	131	4,0	67	0,75	1,56	1,17	1,2	1,40	16,60	12,5			61,55	60,15	NO IRRIGAR
10/02/2015	132	1,3	69	0,85	1,21	1,03	1,2	1,23	15,90	11,9			66,68	65,45	C.C
11/02/2015	133	2,3	64	0,75	5,18	3,89	1,2	4,66	7,00	5,3			66,68	62,02	C.C
12/02/2015	134	1,7	67	0,80	2,54	2,03	1,2	2,44	0,50	0,4			62,39	59,95	NO IRRIGAR
13/02/2015	135	2,0	66	0,80	2,02	1,62	1,2	1,94	1,40	1,1			61,00	59,07	NO IRRIGAR
14/02/2015	136	0,7	63	0,80	1,56	1,25	1,2	1,50	4,40	3,3			62,37	60,87	NO IRRIGAR
15/02/2015	137	2,3	62	0,75	3,58	2,69	1,2	3,22	7,70	5,8			66,68	63,46	C.C
16/02/2015	138	0,7	64	0,80	3,22	2,58	1,2	3,09	12,50	9,4			66,68	63,59	C.C
17/02/2015	139	0,0	68	0,80	3,84	3,07	1,2	3,69	8,10	6,1			66,68	62,99	C.C
18/02/2015	140	0,7	66	0,80	2,44	1,95	1,2	2,34					62,99	60,65	NO IRRIGAR
19/02/2015	141	0,0	69	0,80	6,08	4,86	1,2	5,84					60,65	54,81	NO IRRIGAR
20/02/2015	142	3,3	64	0,75	2,46	1,85	0,7	1,29	23,60	17,7			66,68	65,39	C.C
21/02/2015	143	4,3	66	0,75	2,38	1,79	0,7	1,25	5,70	4,3			66,68	65,43	C.C
22/02/2015	144	1,3	64	0,80	2,92	2,34	0,7	1,64	1,00	0,8			66,18	64,55	NO IRRIGAR
23/02/2015	145	2,3	69	0,75	2,68	2,01	0,7	1,41	4,90	3,7			66,68	65,27	C.C
24/02/2015	146	0,7	67	0,80	1,62	1,30	0,7	0,91	1,10	0,8			66,10	65,19	NO IRRIGAR
25/02/2015	147	2,0	69	0,80	3,96	3,17	0,7	2,22	9,20	6,9			66,68	64,46	C.C
26/02/2015	148	2,3	66	0,75	1,28	0,96	0,7	0,67					64,46	63,79	NO IRRIGAR
27/02/2015	149	4,0	66	0,75	2,64	1,98	0,7	1,39	0,30	0,2			64,02	62,63	NO IRRIGAR
28/02/2015	150	2,0	64	0,80	1,80	1,44	0,7	1,01	17,50	13,1			66,68	65,67	C.C
01/03/2015	151	6,5	64	0,65	4,90	3,19	0,7	2,23					65,67	63,44	NO IRRIGAR
02/03/2015	152	12,0	63	0,60	2,46	1,48	0,7	1,03	4,00	3,0			66,44	65,41	NO IRRIGAR
03/03/2015	153	3,0	63	0,75	4,50	3,38	0,7	2,36	0,30	0,2			65,63	63,27	NO IRRIGAR
04/03/2015	154	3,0	63	0,75	3,68	2,76	0,7	1,93	5,70	4,3			66,68	64,75	C.C
05/03/2015	155	4,0	70	0,75	2,96	2,22	0,7	1,55	10,80	8,1			66,68	65,13	C.C
06/03/2015	156	0,0	66	0,80	4,86	3,89	0,7	2,72					65,13	62,40	NO IRRIGAR
07/03/2015	157	4,0	63	0,75	4,62	3,47	0,7	2,43					62,40	59,98	NO IRRIGAR
08/03/2015	158	12,0	63	0,60	4,64	2,78	0,7	1,95					59,98	58,03	NO IRRIGAR
09/03/2015	159	9,0	62	0,60	4,58	2,75	0,7	1,92					58,03	56,11	NO IRRIGAR
10/03/2015	160	3,5	64	0,75	4,64	3,48	0,7	2,44	5,00	3,8			59,86	57,42	NO IRRIGAR
11/03/2015	161	3,0	65	0,75	4,86	3,65	0,7	2,55	9,70	7,3			64,70	62,14	NO IRRIGAR
12/03/2015	162	8,0	61	0,65	3,70	2,41	0,7	1,68	14,00	10,5			66,68	65,00	C.C
13/03/2015	163	6,0	61	0,65	4,86	3,16	0,7	2,21					65,00	62,79	NO IRRIGAR
14/03/2015	164	9,0	63	0,60	2,98	1,79	0,7	1,25	4,00	3,0			65,79	64,53	NO IRRIGAR
15/03/2015	165	7,0	61	0,65	1,92	1,25	0,7	0,87	0,40	0,3			64,83	63,96	NO IRRIGAR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

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

**FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
CENTRO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y ABONOS (CISA)
LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS**

TIPO DE ANALISIS : FERTILIDAD Y MECANICO.

PROCEDENCIA MUESTRA : POTRERO C-2 C.A. K'AYRA, SAN JERONIMO - CUSCO

INSTITUCION SOLICITANTE : HUGO SALVADOR HOLGADO PILLCO - AMELLS GAMARRA CARDENAS

ANALISIS DE FERTILIDAD :

N°	CLAVE	mmhos/cm C.E.	pH	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	POTRERO C-5	0.40	8.60	1.12	0.06	52.1	80

ANALISIS MECANICO - FISICO

N°	CLAVE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	POTRERO C-5	38	33	29	FRANCO-ARCILLOSO

CUSCO-K'AYRA, 15 DE AGOSTO DEL 2,014.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
Centro de Producción de Bienes y Prestación de Servicios - K'ayra

.....
Ing. Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi


FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y ABONOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- **APARTADO POSTAL**
N° 921 - Cusco - Perú
- **FAX:** 238156 - 238173 - 222512
- **RECTORADO**
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398

- **CIUDAD UNIVERSITARIA**
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- **CENTRAL TELEFÓNICA:** 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- **LOCAL CENTRAL**
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015

- **MUSEO INKA**
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- **CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA**
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- **COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"**
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA CENTRO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y ABONOS (CISA) LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS

TIPO DE ANALISIS : OTROS ANALISIS.
PROCEDENCIA MUESTRA : POTRERO C-2 C.A. K'AYRA SAN JERONIMO - CUSCO.
INSTITUCION SOLICITANTE : HUGO SALVADOR HOLGADO PILLCO - AMELLHS GAMARRA CARDENAS

OTROS ANALISIS :

N°	CLAVE	% H.E.	% C.C.	g/c.c. Da	g/c.c. Dr	% PMP	% POROSIDAD
01	POTRERO C-5	24.37	23.70	1.51	2.50	12.66	39.60

CUSCO-K'AYRA, 05 DE SETIEMBRE DEL 2,014.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
Centro de Investigación en Suelos y Abonos
Ing. Mg. Arcadio F. Jerón Chocuechambi
DIR. DIR.

FABRIO YAPURA KONDORI
ANALISTA EN SUELOS, AGUAS Y PLANTAS



2007-2016 "DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERÚ"
 "AÑO DE LA PROMOCION DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y DEL COMPROMISO CLIMATICO"

ESTACIÓN GRANJA KAYRA

LATITUD	13° 33' 24.7"	DPTO	CUSCO
LONGITUD	71° 52' 29.8"	PROV.	CUSCO
ALTITUD	3219.m.s.n.m	DIST.	SAN JERONIMO

DIA	Humed Relativa media en (%) FEBRERO 2015	Precip total mensual en (mm) FEBRERO 2015	Evapotranspir FEBRERO 2015	Horas y decimas de Sol FEBRERO 2015
1	71.0	0.0		4.3
2	69.0	0.0		7.0
3	67.0	0.0		9.5
4	70.0	0.0		5.7
5	70.0	0.0		6.8
6	70.0	1.0		2.9
7	81.0	2.5		0.6
8	68.0	0.0		4.5
9	74.0	16.6		4.4
10	74.0	15.9		3.6
11	80.0	7.0		1.6
12	78.0	0.5		1.8
13	72.0	1.4		3.8
14	80.0	4.4		2.3
15	87.0	7.7		0.4
16	78.0	12.5		3.3
17	85.0	8.1		0.3
18	73.0	0.0		8.7
19	69.0	0.0		10.9
20	74.0	23.6		5.8
21	76.0	5.7		5.3
22	80.0	1.0		1.6
23	80.0	4.9		0.7
24	76.0	1.1		2.9
25	81.0	9.2		8.5
26	71.0	0.0		5.0
27	76.0	0.3		4.6
28	76.0	17.5		6.1
29				
30				
31				

Preparado para
 "AMELLHS GAMARRA CARDENAS"



[Signature]

Zenón Huamán Gutierrez
 DIRECTOR REGIONAL



Jr.: José Santos Chocano G-18
 Urb. Santa Mónica- Cusco
 Tel: 248789 RPM.*614724



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

Dirección Regional
de Cusco

2007-2016 "DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERÚ"
"AÑO DE LA PROMOCION DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y DEL COMPROMISO CLIMATICO"

ESTACIÓN GRANJA KAYRA

LATITUD
LONGITUD
ALTITUD

13° 33' 24.7"
71° 52' 29.8"
3219.m.s.n.m

DPTO
PROV.
DIST.

CUSCO
CUSCO
SAN JERONIMO

EVAPORACION TOTAL MENSUAL EN (mm) tanque de evaporación.

DIA	FEBRERO 2014
1	1.28
2	3.35
3	3.16
4	3.78
5	1.72
6	1.55
7	2.14
8	2.24
9	1.56
10	1.21
11	5.18
12	2.54
13	2.02
14	1.56
15	3.58
16	3.22
17	3.84
18	2.44
19	6.08
20	2.46
21	2.38
22	2.92
23	2.68
24	1.62
25	3.96
26	1.28
27	2.64
28	1.8
29	
30	
31	



[Signature]
Ing. Zenón Huamán Gutierrez
DIRECTOR REGIONAL

Preparado para
"AMELLHS GAMARRA CARDENAS"



Jr.: José Santos Chocano G-18
Urb. Santa Mónica- Cusco
Tel:248789. RPM.*614724
Email:dr12-cusco@senamhi.gob.pe