

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Escuela Profesional de Agronomía - Pasco**



**EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA LÍNEA DE  
DISTRIBUCIÓN N° 02 DEL SISTEMA DE RIEGO POR  
ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD DE ASTOBAMBA  
– REGIÓN PASCO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. NATALY SOFÍA, JAPA CORNELIO**  
**Bach. JOSHÍM ELÍ, RODRÍGUEZ YLANZO**

**PASCO - PERÚ**  
**2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**Escuela Profesional de Agronomía – Pasco.**



**EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN LA LÍNEA DE  
DISTRIBUCIÓN N° 02 DEL SISTEMA DE RIEGO POR  
ASPERSIÓN EN LA COMUNIDAD DE ASTOBAMBA  
– REGIÓN PASCO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. NATALY SOFÍA, JAPA CORNELIO  
Bach. JOSHÍM ELÍ, RODRÍGUEZ YLANZO**

---

**Mg. Vicente Nilo GAMARRA TORIBIO  
PRESIDENTE**

---

**Mg. Andrés Edwin LEÓN MUCHA | Ing. Gina Elsi CASTRO BERMUDEZ  
MIEMBRO MIEMBRO**

---

**Ing. Teodosio ASTUHUAMÁN VARA  
ASESOR CO-ASESOR**

---

**Ing. Moisés TONGO PIZARRO**

**Pasco**

**2015**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por el don de darme la vida y quien siempre ha estado conmigo en todos mis momentos. Él me ha dado fuerzas cuando más lo he necesitado.

A mis padres, por el sacrificio realizado, para así poder alcanzar el anhelo de ser profesional.

**Nataly**

A Dios por darme la vida, sabiduría y el conocimiento en todo momento, y guardarme de todo peligro, para así alcanzar mis metas trazadas.

A mis padres por brindarme las facilidades y brindarme su apoyo en todo momento para hacer realidad mi vida profesional.

A mis hermanos por estar en todo momento conmigo y brindarme su apoyo.

**Joshím**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores expresan su agradecimiento:

- A nuestros asesores por guiarnos en todo el proceso del trabajo de investigación.
- A nuestros jurados por brindarnos su apoyo incondicional en todo el proceso del trabajo de investigación.
- A los docentes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por compartir sus conocimientos dentro y fuera de las aulas universitarias.
- A nuestros colegas y amigos por el apoyo incondicional en todo momento de nuestras vidas.
- Al comité de regantes de la comunidad de Astobamba por brindarnos las facilidades necesarias con el sistema de riego para ejecutar el proyecto de tesis.
- Finalmente a todas las personas quienes de cerca nos brindaron su apoyo sincero.

## ÍNDICE

ig.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>08</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
2.1. El sistema de riego por aspersión	10
2.2. Componentes del sistema de riego por aspersión	12
2.3. Planificación del riego por aspersión	12
2.4. Ventajas del riego por aspersión	13
2.5. Parámetros hídricos del riego por aspersión	13
2.5.1. Lámina de riego	13
2.5.2. Frecuencia de riego	14
2.5.3. Tiempo de operación	14
2.6. Instrumentos de control de Parámetros Hídricos	14
2.6.1. Medidor de agua	14
2.6.2. Tensiómetro	14
2.6.3. Programador de riego	14
2.6.4. Electroválvulas	14
2.7. Principios de cálculos hídricos	15
2.8. Parámetros hidráulicos en la tubería de distribución	15
2.8.1. Presión hidráulica	15
2.8.2. Caudal de hidráulico	16
2.9. Instrumentos de control de Parámetros Hidráulicos	16
2.9.1. Caudalímetro	16
2.9.2. Manómetro	16
2.9.3. Reductor de presión	16
2.9.4. Válvulas de control	16
2.10. Principios de cálculos hidráulicos	16
2.11. Antecedentes de trabajos realizados	17
2.12. Definición de términos	23
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1. Ubicación geográfica, política y ecológica	25
3.1.1. Ubicación geográfica	25
3.1.2. Ubicación política	25

3.1.3. Ubicación ecológica	25
3.1.4. Historia del sistema de riego	25
3.2. Campode Investigación	26
3.2.1 Esquema del Campo de Investigación	26
3.2.2 Descripción del Campo de Investigación	27
3.3. Datos meteorológicos	29
3.4. Población y muestra	29
3.4.1. Población	29
3.4.2. Muestra	29
3.5. Materiales y equipos	30
3.5.1. Materiales	30
3.5.2. Equipos	30
3.6. Procedimiento de la Investigación	30
3.6.1. Fase Preliminar	30
3.6.2. Fase de Campo	31
A) Respecto de la Demanda de Agua	31
B) Respecto de la Oferta de Agua	31
3.6.3. Fase de Gabinete	32
C) Respecto de la Demanda de Agua	32
D) Respecto de la Oferta de Agua	33
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>36</b>
4.1. Planificación de Riego Practicada	42
4.1.1. Tipo de Aspersor	43
4.1.2. Línea Móvil de Aplicación de Aspersión	44
4.1.3. Tiempo de Riego	45
4.1.4. Frecuencia, Turnos y Posiciones de Riego	47
4.2. Evaluación de la Oferta Hídrica	48
4.2.1. Aforo en el Canal de Conducción	49
4.2.2. Aforo en la Cámara de riego	50
4.2.3. Aforo en la Tubería de Distribución	51
4.2.4. Aforo en la Línea de Aplicación	52
4.3. Evaluación de la Demanda Hídrica	53
4.3.1. Delimitación del Área de Riego	54
4.3.2. Uso Consuntivo de los Cultivos	55
4.3.3. Eficiencia de Riego	55
4.4. Evaluación del Balance Hídrico	56
4.4.1. Respecto a la Cobertura del Área Proyectada. Caso 1	56
4.4.2. Respecto a la Cobertura del Área Proyectada. Caso 2	57
4.4.3. Respecto a la Satisfacción del Área Regada. Caso 1	57
4.4.4. Respecto a la Satisfacción del Área Regada. Caso 2	58

<b>V. CONCLUSION</b>	<b>60</b>
<b>VI. RECOMENDACIÓN</b>	<b>62</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO</b>	<b>66</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

A nivel nacional, los sistemas de riegos más usados son el goteo, aspersión y el de gravedad; pero el más practicado en nuestra serranía es el sistema de riego por aspersión, por ser muy práctico y económico, frente a la mitigación de impactos ambientales respecto a erosión del suelo.

En la región Pasco los sistemas de riego por aspersión se construyen con la ejecución de los diseños que resultan de la proyección de los requerimientos de agua que necesitan los cultivos, con parámetros propios del tipo de cultivo, clima y área agrícola; se diseñan y construyen para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, por lo general, después de concluida las obras de sistema de riego, como parte de la política de post inversión de proyectos, no se comprueba si la cantidad de agua que fluirá por las tuberías instaladas abastecerá las necesidades de agua.

La situación problemática en la Provincia Daniel Carrión es que se practica una agricultura tradicional, siendo en general, el riego por gravedad el más usado, frente a una realidad adversa como la topografía accidentada, en las cuales se asientan la mayoría de los terrenos de cultivo de los productores. Esta práctica conlleva a deteriorar el suelo, ocasionándoles erosión hídrica es una de las razones más relevantes para explicar la baja productividad de los cultivos. El riego recomendado para estos terrenos de ladera, de relieves empinados, es el riego presurizado por aspersión. Con este tipo de riego no sólo se estaría mitigando la erosión del suelo, si no también se lograría optimizar el uso del recurso hídrico. La Provincia Daniel Carrión, cuenta con un sistema de riego por aspersión, ante la escasez de agua para

los cultivos. Este sistema de riego no se viene usando en forma adecuada, no se tiene un conocimiento sobre el control de los parámetros hídricos e hidráulicos. Menester que es más competencia de un proyecto de investigación. Finalmente, el presente trabajo de investigación se justifica ya que propicia que la planificación del riego en la comunidad se realice en forma racional, evitando la escasez de agua en algún sector. Por tanto el problema identificado para el presente trabajo de investigación se formula con la siguiente interrogante:

¿Cómo es el balance hídrico en el área de influencia de la línea de distribución N°02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba?

En este contexto el presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Evaluar la oferta y la demanda hídrica en el área de influencia de la línea de distribución N°02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba.

Objetivos Específicos:

- Determinar la cantidad de agua que oferta la línea de distribución N° 02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba.
- Estimar la cantidad de agua que demandan los pastos en el área de influencia de la línea de distribución N°02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba.
- Analizar el balance hídrico oferta-demanda en el área de influencia de la línea de distribución N°02 del Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad de Astobamba.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. El sistema de riego por aspersión**

**García (1997)**, menciona que en el riego por aspersión consiste en una red de tuberías con aspersores acoplados a ellos, arreglados de tal manera que puedan distribuir la precipitación del agua de riego lo más uniforme posible sobre el campo de cultivo. En la mayoría de los sistemas de riego por aspersión, intensidad de precipitación es menor que la tasa de infiltración básica del suelo. De esta manera se logra que toda el agua que cae sobre la superficie del suelo se infiltre, evitando el exceso de encharcamiento que pueda resultar en escurrimientos superficiales, los cuales traerían como consecuencia aplicaciones no uniformes del agua y serios problemas de erosión.

### **2.2. Componentes de un sistema de riego por aspersión**

**Vásquez (2002)**, afirma que, en términos generales, los componentes de un sistema de riego por aspersión son los siguientes:

#### **2.2.1 CAPTACIÓN**

Estructura que permite desviar el flujo del agua en la fuente hídrica. Cuando la fuente hídrica es una quebrada o riachuelo, la estructura se denomina bocatoma, y cuando la fuente hídrica se trata de un manantial, la estructura se conoce como cámara de captación.

#### **2.2.2 LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

Son conductos o líneas de riego entubadas que pueden funcionar a gravedad o a presión. Esto depende de la topografía del terreno. También se conocen como línea matriz o línea principal. Conduce el agua desde la

captación hasta los puntos de distribución, de donde se conectarán las líneas de distribución del riego.

### 2.2.3 CÁMARAS DE RIEGO

Son estructuras que se construyen cuando la línea de conducción trabaja a gravedad. Son como pequeños reservorios, pero que cuya función, aparte de almacenar agua, es de asegurar la presión hidráulica en la tubería lateral de distribución o sea, que esta tubería siempre se encuentre a tubo lleno.

### 2.2.4 CAJAS DE INSPECCIÓN

Son estructuras que se construyen cuando la línea de conducción trabaja a gravedad. Son pequeñas estructuras en forma de caja, que van a lo largo de la línea de conducción entubada. Sirve como cajas de registro, para monitorear y realizar el mantenimiento de limpieza de la sedimentación en el canal de conducción, debido a su baja gradiente física que presenta.

### 2.2.5 LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN

Son conductos o líneas entubadas que funcionan a presión hidráulica. Se conectan (salen) en forma lateral a una línea matriz o principal de conducción, para distribuir el caudal de agua hacia los sectores de riego, mediante unos hidrantes instalados a lo largo de su longitud. En algunos casos, cuando se requiera, se instalarán unidades de rompe-presión.

### 2.2.6 HIDRANTE

Son puntos de salida de agua a lo largo de la línea lateral de distribución para riego. Mediante la cual se conecta la línea de riego móvil. Esta conexión se realiza por medio de un sistema de acople rápido, que

consiste en una válvula automática y un dispositivo “bayoneta”, que hace que la salida de agua a través de la manguera sea muy práctica y fácil.

#### 2.2.7 LÍNEA DE RIEGO MÓVIL

Consiste en una manguera con aspersores que es conectado al hidrante, para regar en forma rotativa o por turnos todo el sector de riego. Si el sector de riego consiste en varias propiedades, la línea de riego es compartida entre los usuarios o regantes de ese sector.

### 2.3. Planificación del riego por aspersión

**García (1995)**, menciona que la planificación de riego nos indica, cómo cuándo y cuánto se debe de regar para la mayor producción y productividad de las plantas. Y que es importante porque contribuye a la optimización en el uso (manejo) del agua y la determinación de la cantidad necesaria para la obtención de rendimiento satisfactorio. Detallando la planificación del riego, planteado en tres interrogantes:

#### 2.3.1 ¿Cómo regar?

Es planificarse a regar con las características del sistema de riego.  
Relacionado también con el tiempo de riego.

#### 2.3.2 ¿Cuánto regar?

Es planificarse a regar con la cantidad justa y necesaria de agua.

#### 2.3.3 ¿Cuándo regar?

Es planificarse a regar en el momento oportuno.

## **2.4. Ventajas del riego por aspersión**

**Mateo (1981)**, manifiesta que, en nuestra serranía, el riego por aspersión, frente al riego tradicional en laderas, presenta diversas ventajas muy favorables, no sólo para organización del riego, sino también para la misma producción agrícola. Algunas de las ventajas que son más relevantes se detallan a continuación:

- En terrenos de ladera, de pendientes fuertes, el riego por aspersión es ideal para evitar o reducir la erosión hídrica de los suelos. Este es el más económico de los otros riegos presurizados.
- En condiciones normales, por ser un sistema totalmente entubado y aunado a la aspersión, la eficiencia de riego es buena. Por tanto, se optimiza el recurso hídrico, frente al riego tradicional. Con el agua ahorrada se puede ampliar la frontera agrícola.
- En cuanto al manejo, es más sencillo de utilizar, con un adecuado adiestramiento.

## **2.5. Parámetros hídricos del riego por aspersión**

### **2.5.1 LÁMINA DE RIEGO**

**Lazo (2006)**, afirma que la lámina de riego es la cantidad de agua que tiene que aplicarse al suelo durante el riego, para reponer el agua que ha sido extraído por la planta. Esta reposición generalmente se hace hasta alcanzar el nivel de capacidad de campo. Esta lámina de riego es la lámina de neta de riego; sin embargo, la lámina que realmente se aplica es la

lámina bruta, la cual se calcula afectándola por la eficiencia de riego. Es decir cuánto se tendrá que regar.

### **2.5.2 FRECUENCIA DE RIEGO**

**Lazo (2006)**, precisa que este término está referido al tiempo (días) que debe transcurrir de un riego a otro. Es decir cada cuándo se tiene que volver a regar el terreno de cultivo. Esta frecuencia resulta de dividir la lámina neta entre la ETP.

### **2.5.3 TIEMPO DE OPERACIÓN**

**Lazo (2006)**, menciona que el tiempo de operación es el periodo (horas) que debe durar el suministro de agua al campo, hasta alcanzar la capacidad de campo. Es decir tiempo que tardará la aplicación del riego.

## **2.6. Instrumentos de medición de Parámetros hídricos**

### **2.6.1 MEDIDOR DE AGUA**

**Vásquez(2002)**, afirma que el instrumento que se usa para medir el volumen del flujo de agua en un conducto cerrado sometido a presión hidráulica.

### **2.6.2 TENSÍOMETRO**

**Vásquez(2002)**, precisa que el tensiómetro es un instrumento que consta esencialmente de un tubo lleno de agua, con una cápsula de cerámica porosa en un extremo y con un manómetro o medidor de vacío en el otro extremo. El tubo se instala en el suelo, colocando la punta de cerámica a la profundidad cuya humedad se quiere medir, y el manómetro por encima de la superficie.

### 2.6.3 PROGRAMADOR DE RIEGO

**Sánchez(2005)**, manifiesta que estos dispositivos automáticos abren o cierran unos circuitos electrónicos y en envían a los solenoides de las electroválvulas o de los pilotos que la regulan, la orden necesaria para apertura o cierre. Con estos sistemas se permiten establecer la secuencia de riego y la dotación para cada unidad, de una forma restablecida o bien según la respuesta de diferentes sensores colocados en la red de riego o en el terreno.

### 2.6.4 ELECTROVÁLVULAS

**Sánchez(2005)**, comenta que estos dispositivos regulan el paso del agua a través de la canalización; su funcionamiento es automático y el sistema de accionamiento puede ser de tres tipos: eléctrico, hidráulico o mixto. Estas válvulas de accionamiento automático son esenciales en los automatismos, abren, cierran o gradúan el paso del agua por medio de un pistón o diafragma, respondiendo a una señal enviada por un elemento de control (dispositivo electromagnético llamado solenoide).

## 2.7. Principios de cálculos hídricos

Cuadro N° 01: Cálculos hídricos

#### **1.- Demanda de agua del cultivo**

ETP= 2.5 mm/día (Evapotranspiración Potencial)

ETC= ETP\*Kc. ( Evapotranspiración del Cultivo, mm/día). Es para cada cultivo

Da= ETC\* N° Has.\*10 ( Demanda de agua, m3/día)

Da= ETC\* N° Has.\*10\*1000/86400 ( Demanda de agua, lt./seg.)

#### **2.- Demanda de agua con el sistema de riego (proyecto)**

Ds= Da/Er\*24/Top (Demanda del sistema, lt/seg.)

Er= Eficiencia del sistema de riego (%)

Top= Tiempo de operación de riego (Horas)

#### **3. Lámina de agua bruta**

Lb=Ln/Er (Lánina bruta, mm/día)

Ln=ETC/Fr (lámina neta, mm/día)

Fr=Frecuencia de Riego (Días)

## **2.8. Parámetros hidráulicos del riego por aspersión**

### **2.8.1 PRESIÓN HIDRÁULICA**

**Hendriks (1994)**, menciona que la presión hidráulica o del agua es la fuerza que el agua ejerce por unidad de superficie. Esta presión se da tanto internamente (entre partículas de agua) como hacia el exterior (por ejemplo, hacia la pared del tubo). En el caso específico de una columna de agua vertical hablamos de presión hidrostática. Esta presión hidrostática es igual al peso de la columna vertical de agua encima de la unidad de superficie sobre la cual se mide esta presión. En consecuencia, 1 metro de columna de agua equivale a 0.1 Kg-f/cm<sup>2</sup> o un bar en el fondo. Cuando se habla de presión hidrodinámica, se refiere a la presión hidráulica cuando el agua se encuentra en movimiento y, en un mismo punto, será diferente (menor), por la pérdida de carga que experimenta el flujo del agua al desplazarse dentro del tubo.

### **2.8.3 CAUDAL DE HIDRÁULICO**

**Hendriks(1994)**, acota que el caudal de agua es el volumen que pasa por una sección del conducto en una unidad de tiempo, que para el caso del riego, generalmente, es el segundo; y el volumen se mide en litros. En consecuencia, es típico medirlo en litros/segundo. El caudal hidráulico, es también conocido como razón volumétrica del agua, y asimismo puede definirse como la velocidad de paso del agua por una determinada sección del ducto que lo contiene en movimiento.

## 2.9. Instrumentos de medición de Parámetros Hidráulicos

### 2.9.1 CAUDALÍMETRO

Vásquez(2002), afirma que el caudalímetro es un instrumento que se usa para medir el caudal del flujo de agua en un conducto cerrado sometido a presión hidráulica.

### 2.9.2 MANÓMETRO

Vásquez(2002), acota que el manómetro es un instrumento que se usa para medir la presión hidráulica del flujo de agua en un conducto cerrado, generalmente, tubería.

### 2.9.3 REDUCTOR DE PRESIÓN

Sánchez(2005), afirma que son dispositivos diseñados para reducir en forma automática y única la presión hidrodinámica, cuando el agua se encuentra en movimiento.

### 2.9.4 VÁLVULAS DE CONTROL

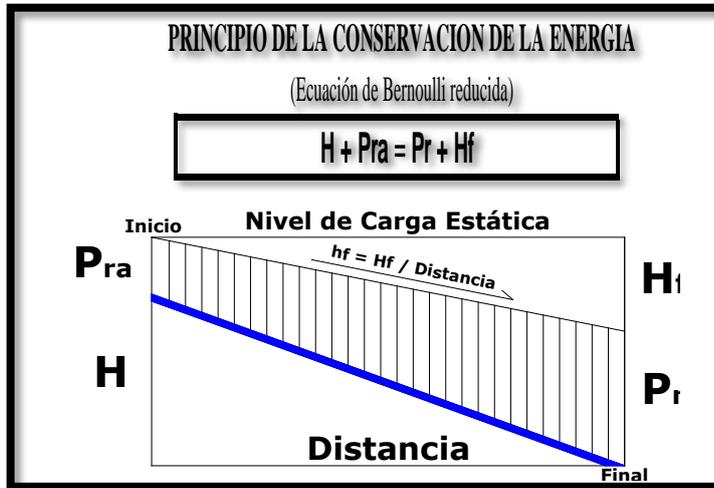
Sánchez (2005), comenta que son dispositivos que regulan en forma manual el paso o flujo del agua por un conducto, pueden ser de tipo bola o compuerta.

## 2.10. Principios de cálculos hidráulicos

Cuadro N° 02: Fórmula de Hazen y Williams

<b>FORMULA DE HAZEN &amp; WILLIAMS</b> (Flujo en Tuberías a Presión)
$Q = C * 0.0004264 * D^{2.63} * h_f^{0.54}$
Donde : Q = Caudal (l/s) C = Coeficiente, para material PVC es 140 D = Diametro de tubería (pulg) h <sub>f</sub> = Pérdida de carga unitaria o gradiente hidráulica (m/Km ó o/oo)

Cuadro N° 03: Principios de conservación de la materia.



## 2.11. Antecedentes de trabajos realizados

**García (1985)**, presenta un trabajo donde analiza que los criterios básicos de riego y los factores del riego son determinantes en la programación del riego. En este trabajo muestra una metodología para la programación, basada en datos obtenidos experimentalmente y comprobados a nivel de campo. Manifestando que la programación del riego comprende la determinación de la profundidad y el momento del riego durante todo el periodo vegetativo de un cultivo o varios cultivos, o sea, cuanto y cuando regar para evitar una disminución del rendimiento del cultivo debido a la escasez de humedad en el suelo y también los perjuicios por exceso. La profundidad y la frecuencia de riego deben adaptarse a criterios de constitución de la humedad del suelo relativos a cada cultivo, tipo de suelo, producto y tipo de explotación.

**Machuca(1990)**,afirma que el riego es una de las prácticas importantes para el manejo de un cultivo, que permite abastecer las cantidades de agua necesarias para el crecimiento y desarrollo vegetativo. En general, toda el agua de que se dispone para riego tiene su origen en las precipitaciones; sin embargo, éstas son muy variables y dependen de la latitud, altitud, regímenes de vientos y topografía del lugar.

El Proyecto Plan Piloto de Riego por Aspersión San Marcos se localiza dentro del Subproyecto de Irrigación San Marcos, en la Provincia de San Marcos, Departamento de Cajamarca. La altitud promedio del lugar es de 2 200 msnm. Este Proyecto permitirá efectuar labores de investigación en riego, para finalmente utilizar eficientemente el recurso agua. La zona en mención se ubica en ladera, con una pendiente promedio de 12% a 14%, y la fuente de energía para el sistema de riego a presión es proporcionada por el desnivel que existe entre la fuente de agua y una bomba-turbina.

La evaluación del sistema instalado nos permite señalar que el mismo está operando de manera aceptables. El Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (UCC) reportó valores cercanos al 80%, lo cual indica que la aplicación del agua sobre el campo es bastante uniforme.

Las variaciones de presión y descarga entre el primer y último aspersor fueron de 12% y 10%, respectivamente. El radio mínimo de mojado fue de 10.7 m. y el máximo de 12.0 m., observándose buena superposición (traslape) del agua lanzada por los aspersores, para el sistema (12, 12).

Finalmente, se debe señalar que no se observó encharcamientos de agua sobre el terreno, lo cual indica que la velocidad de aplicación del agua fue menor que la infiltración básica del suelo.

**Martel (1990)**, menciona que su trabajo de Investigación estuvo orientado a la determinación del efecto de la frecuencia de riego en el cultivo de vainita, cultivar 'Bush Blue Lake 92', se llevó a cabo en el campo Experimental Olerícola del Programa de Investigación en Hortalizas de la Universidad Agraria La Molina. Ubicada en el Valle de Ate, provincia de Lima, Departamento de Lima.

Se estudiaron cuatro tratamientos siendo F1 la frecuencia de riego en 3 días, F2 de 5 días, F3 de 7 días y F4 de 12 días; el diseño experimental empleado fue el de completamente randomizado.

El método de riego por aspersión se empleó a partir de los 19 días de la siembra, aplicándose un volumen total de agua en el tratamiento F1 de 2,588.66m<sup>3</sup>/Ha., en el tratamiento F2 de 2,474.59 m<sup>3</sup>/Ha., en el tratamiento F3 de 2,588.66 m<sup>3</sup>/ha. y en el tratamiento F4 de 2,152.78 m<sup>3</sup>/Ha.; volúmenes obtenidos en función a la curva kc del cultivo y la evaporación diaria obtenida por el método del Tanque Standard tipo A.

Los mejores resultados se tuvieron en el tratamiento F3, lográndose un rendimiento de 19,250 kg/Ha; y una rentabilidad de 7.44 kg./m<sup>3</sup>.

**PROYECTO NACIONAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y CONSERVACIÓN DE SUELOS - PRONAMACHCS (1993)**,informa que a lo largo de los años de esta institución en esta sede, se ha puesto en práctica la programación de riego en distintos pequeños y medianos proyectos de riego, corroborando que esta programación o también denominada planificación de riego, va a depender mucho de las propiedades físicas del suelo y en especial de las propiedades hídricas de almacenamiento en relación con el requerimiento de la planta, para un adecuado crecimiento y cosecha de buen rendimiento.

**Cornejo (1999)**,en su trabajo de investigación de un sistema de aspersión, encontró que cuando se trabaja con 09 aspersores en una línea móvil, la presión hidrodinámica registrada fue de 1.86 atm. Mientras que cuando se hizo operar 18 aspersores, la presión hidrodinámica medida en estos aspersores fue de 1.165 atm, produciéndose un descenso, respecto de cuando se trabajan con 09 aspersores.

**Dechmi (2002)**,en su trabajo de investigación se precisa que en todos los sistemas de riego, un adecuado diseño y manejo permiten hacer un uso más eficiente del agua disponible, maximizar la producción y limitar las pérdidas de agua por percolación profunda. En este trabajo se pretende contribuir a la mejora del uso del agua en el riego por aspersión. En primer lugar, se presenta un análisis del uso del agua y la calidad de riego en la comunidad de regantes de la Loma de Quinto. Esta comunidad está localizada en el valle de Ebro (NE

España) y usa una gran variedad de sistemas de riego por aspersión para regar 2.606 ha. El presente estudio es una contribución a la fase de análisis y diagnóstico de un incipiente Programa de Mejora de la Gestión en la Loma de Quinto. En el Capítulo 1, se analizaron los problemas del manejo de riego y los factores que afectan al uso el agua. El elevado coste del agua de riego en relación con el margen bruto de los cultivos, las deficiencias técnicas de los sistemas de riego, y las limitaciones impuestas por el clima y los suelos parecen ser las causas principales de los problemas de uso del agua identificados. En el Capítulo 2, el análisis de la comunidad se ha extendido para incluir evaluaciones de riego, simulaciones del riego en coberturas totales de aspersión, y el estudio de la relación entre la programación del riego y el rendimiento de los cultivos. En coberturas totales de aspersión, la uniformidad de riego se redujo fuertemente con la velocidad del viento. Sin embargo, en pivotes y máquinas de desplazamiento lateral el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) resultó ser ligeramente más elevado en evaluaciones con vientos de entre 2 y 6 m s<sup>-1</sup> que en condiciones de calma. Los resultados más relevantes fueron los que se obtuvieron de la caracterización de técnicas avanzadas de programación de riegos. Las diferencias en el rendimiento del cultivo y el uso del agua derivadas de regar a diferentes horas del día se estimaron en dos localidades con importantes diferencias en su exposición al viento. En estas localidades se desarrollaron curvas para relacionar al agua usada con el descenso del rendimiento de los cultivos. La simulación se aplicó también a la estimación de valores umbrales de viento para un manejo óptimo del riego. En la localidad más expuesta al viento el umbral de 2.5 m s<sup>-1</sup> resultó

adecuado para controlar la caída del rendimiento y para minimizar el uso del agua.

**Bazán (2005)**, manifiesta que en el estudio del diseño, operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión, que se llevó a cabo en la comunidad de Misca, Provincia de Paruro, Departamento de Cuzco, para un área de 6,50 has en la cual se plantea la producción de cultivos propios de la zona (de pan llevar). Así también se elaboró un programa de operación mantenimiento para el sistema de riego diseñado.

El proyecto consiste en el aprovechamiento de las aguas provenientes de los manantes Murcuto y Labranpuquio, de las que se captara un caudal de 6,75 l/s. El diseño comprende desde las captaciones, desde las cuales partirán las líneas de conducción las mismas que se encontraran en una caja de reunión de este punto se conducirá una línea de conducción principal hasta el reservorio, se señala que la línea de conducción contempla cinco cámaras rompe presiones para el control de las presiones en las tuberías de PVC. A partir del reservorio de 42,1m<sup>3</sup> partirá la línea de educación la que será tendida hacia la cámara rompe presión # 6, la tubería llega a las áreas de riego a favor de la pendiente, donde se han ubicado los hidratantes y líneas laterales de distribución, a partir de aquí se conectarán las tres líneas móviles de riego las cuales regarán en 6 días (frecuencia de riego) las seis unidades de riego.

**Pérez (2007)**, manifiesta que al operar en un sistema de riego por aspersión, cuando el aspersor estuvo sometido a una presión hidrodinámica de 5 mca se

midió una área de humedecimiento del riego de 3.8 m de diámetro y se registró un caudal de 17.62 l/hr. Mientras que cuando el aspersor trabajó bajo una presión hidrodinámica de 25 mca, el diámetro de humedecimiento de riego fue de 6.9 m., con un registro de caudal de 39.20 l/hr.

**Irrrometer (2011)**, en su manual de usuario, producto de reiteradas pruebas de campo, manifiesta que por ejemplo en suelos de textura media a franca, el inicio del riego de este suelo se debe realizar cuando el tensiómetro registre lecturas entre 30 a 50 cBar. Asimismo, debe finalizar el riego cuando el tensiómetro registre lecturas entre 0 a 15 cBar.

**Hereña (2012)**, en su trabajo de investigación, encontró que la presión hidrodinámica de la salida del flujo en el Hidrante H1 (a un desnivel de 24.66 m desde la cámara de riego) fue de 33 psi, mientras que en el hidrante H8 (a un desnivel de 172.60 m desde la cámara de riego) se registró una presión de 160 psi. Asimismo, respecto al caudal hidráulico, se investigó que el caudal de la salida del flujo en el Hidrante H1 por un aspersor (a un desnivel de 24.66 m desde la cámara de riego) fue de 0.019 l/s, mientras que en el hidrante H8 por un aspersor (a un desnivel de 172.60 m desde la cámara de riego) se registró un caudal de 0.116 l/s.

En cuanto a la frecuencia de riego de la programación del riego por aspersión, se encontró que por ejemplo en la etapa inicial, la frecuencia fue un promedio de 8 días, mientras que en las etapas de desarrollo, mediados y final se registraron los promedios de 9, 12 y 7 días respectivamente. Respecto al

tiempo de operación del riego, se registró un promedio aproximado de 1.50 horas. En tanto que para la lámina de riego se registró un promedio de 61.02 mm.

## **2.11. Definición de términos**

### **ASPERSOR**

Es un dispositivo que presenta una o más boquillas, que al ser impulsada por presión hidráulica a través de una manguera, puede disparar, en posición fija o giratoria, un caudal de agua en forma de lluvia, humedeciendo un determinado diámetro. Son construidos de plástico o metal(Lazo, 2006).

### **LINEA DE RIEGO MÓVIL**

Consiste en una manguera con aspersores que es conectado al hidrante, para regar en forma rotativa o por turnos todo el sector de riego. Si el sector de riego consiste en varias propiedades, la línea de riego es compartida entre los usuarios o regantes de ese sector(Lazo, 2006).

### **HIDRANTE**

Son puntos de salida de agua a lo largo de la línea lateral de distribución para riego. Mediante la cual se conecta la línea de riego móvil. Esta conexión se realiza por medio de un sistema de acople rápido, que consiste en una válvula automática y un dispositivo “bayoneta”, que hace que la salida de agua a través de la manguera y por los aspersores sea muy práctica y fácil(Vásquez, 2002).

### **TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN**

Son conductos o líneas entubadas que funcionan a presión hidráulica. Se conectan (salen) en forma lateral a una línea matriz o principal de conducción, para distribuir el caudal de agua hacia los sectores de riego, mediante unos hidrantes

instalados a lo largo de su longitud. En algunos casos, cuando se requiera, se instalarán unidades de rompe-presión(Vásquez, 2002).

#### CÁMARA DE RIEGO

Son estructuras como pequeños reservorios, pero que cuya función, aparte de almacenar agua, es de asegurar la presión hidráulica en la tubería lateral de distribución. Es decir, que esta tubería siempre se encuentre a tubo lleno(Vásquez, 2002).

#### CAJA DE INSPECCIÓN

Son pequeñas estructuras en forma de caja, que van a lo largo de la línea de canal de conducción entubado. Sirve como cajas de registro, para monitorear y realizar el mantenimiento de limpieza de la sedimentación en el canal de conducción, debido a su baja gradiente física que presenta este(Vásquez, 2002).

#### CANAL DE CONDUCCION ENTUBADO

Es un conducto o línea entubada que funciona a gravedad hidráulica. Se conecta (sale) del sistema de captación, específicamente, del desarenador, para conducir el caudal de agua hacia las líneas de distribución, mediante las cámaras de riego(Vásquez, 2002).

#### CAUDALÍMETRO

Instrumento que se usa para medir el caudal del flujo de agua en un conducto cerrado sometido a presión hidráulica(Vásquez, 2002).

#### MANÓMETRO

Instrumento que se usa para medir la presión hidráulica del flujo de agua en un conducto cerrado, generalmente, tubería (Vásquez ,2002).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación geográfica, política y ecológica**

##### **3.1.1. Ubicación geográfica**

Según Leslie Holdridge en 1971, el área en estudio, corresponde a la Región Latitudinal templado frío con una biotemperatura promedio de 6 a 12°C y un Piso altitudinal de bosque húmedo Montano Tropical

Según el doctor Javier Pulgar Vidal en 1941 ésta se clasifica en la Región Quechua, que se ubica desde los 2 500 hasta los 3 500 m.s.n.m. El comienzo de la línea de distribución N° 02 del Sistema de Riego por Aspersión de Astobamba está ubicado a 3280 m.s.n.m. a una longitud oeste 76°30'51.1" del meridiano de Greenwich y a una latitud sur de 10°29'25.9" y con una precipitación pluvial de 500 a 600 mm mensual.

##### **3.1.2. Ubicación política**

El lugar experimental está ubicado en:

**Lugar:** Sistema de Riego de Astobamba

**Distrito:** Yanahuanca

**Provincia:** Daniel Carrión

**Región:** Pasco

### **3.1.3. Ubicación ecológica**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Sistema de Riego por Aspersión de la Comunidad Campesina de Astobamba, en la línea de distribución No 02, que consta de 04 hidrantes para riego por aspersión y 01 caja de purga.

### **3.1.4. Historia del sistema de riego**

De acuerdo a los informes de las autoridades comunales, el sistema de riego data desde aproximadamente de 20 años. El sistema de riego, respecto al canal matriz, fue construido por la institución PRONAMACHCS realizado el año 1998. En el año 2010 fue rehabilitado, mejorado y ampliado por el Gobierno Regional Pasco. Actualmente, se encuentra operativo y funcionando parcialmente. Esto último, aún persiste debido a que todavía existe cierto desconocimiento sobre el manejo del riego por aspersión por parte de algunos comuneros.

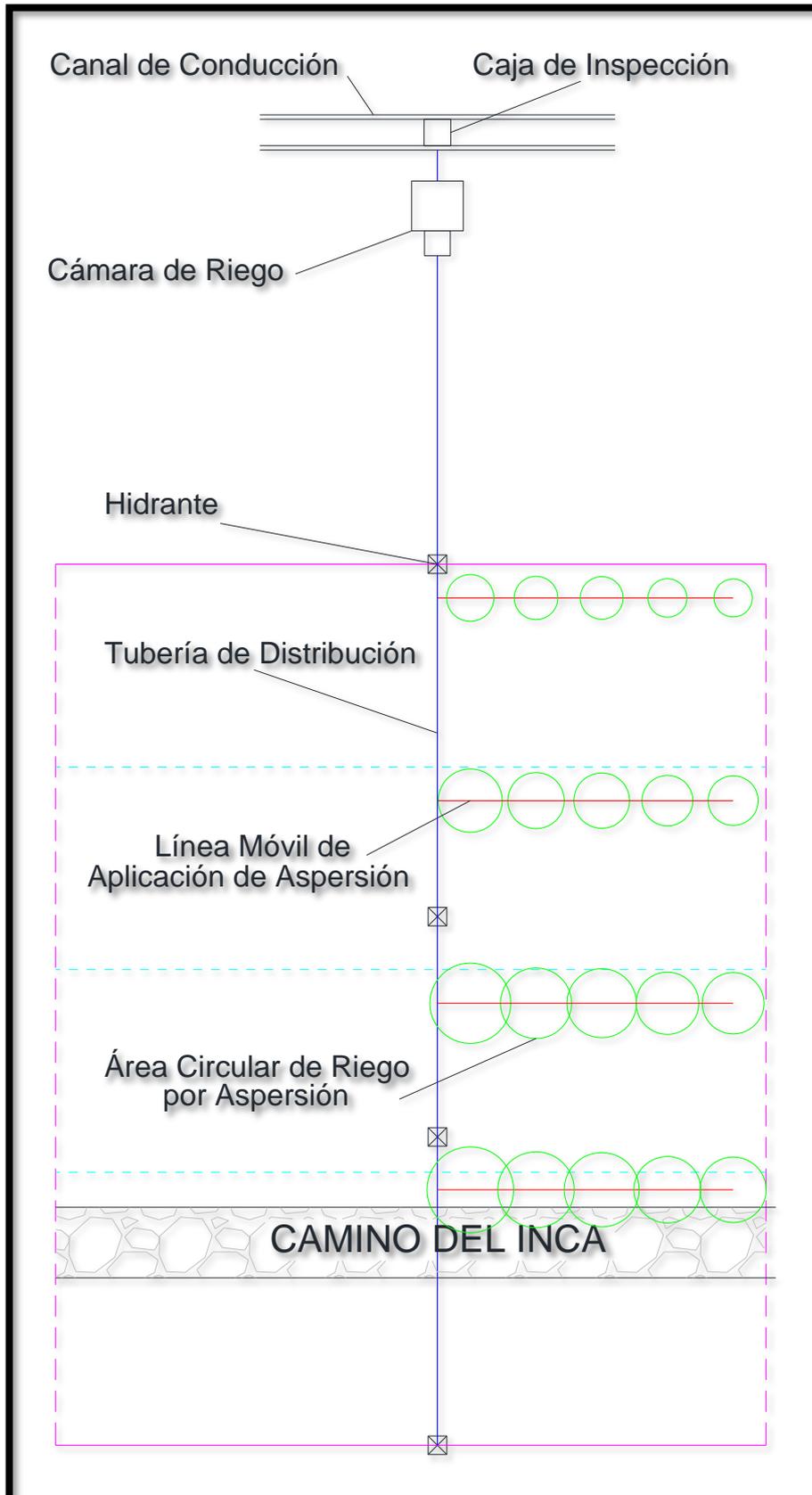
## **3.2. Campo de Investigación**

El campo de investigación son los terrenos que se riegan con la Tubería de Distribución No 02 que se desprende del Canal de Conducción, a través de una Cámara de Riego. Esto es para asegurar generación de presión en la Tubería de Distribución.

### **3.2.1 Esquema del Campo de Investigación**

El esquema de Campo de Investigación se muestra a continuación:

Grafico N° 01: Esquema de Campo de Investigación



### **3.2.2 Descripción del Campo de Investigación**

#### **A) CANAL DE CONDUCCIÓN**

Son conductos o líneas de riego entubadas que pueden funcionar a gravedad o a presión. Esto depende de la topografía del terreno. También se conocen como línea matriz o línea principal. Conduce el agua desde la captación hasta los puntos de distribución, de donde se conectarán las líneas de distribución del riego.

#### **B) CAJAS DE INSPECCIÓN**

Son estructuras que se construyen cuando la línea de conducción trabaja a gravedad. Son pequeñas estructuras en forma de caja, que van a lo largo de la línea de conducción entubada. Sirve como cajas de registro, para monitorear y realizar el mantenimiento de limpieza de la sedimentación en el canal de conducción, debido a su baja gradiente física que presenta este.

#### **C) CÁMARAS DE RIEGO**

Son estructuras que se construyen cuando la línea de conducción trabaja a gravedad. Son como pequeños reservorios, pero que cuya función, aparte de almacenar agua, es de asegurar la presión hidráulica en la tubería lateral de distribución. Es decir, que esta tubería siempre se encuentre a tubo lleno.

#### D) TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN

Son conductos o líneas entubadas que funcionan a presión hidráulica. Se conectan (salen) en forma lateral a una línea matriz o principal de conducción, para distribuir el caudal de agua hacia los sectores de riego, mediante unos hidrantes instalados a lo largo de su longitud. En algunos casos, cuando se requiera, se instalarán unidades de rompe-presión.

#### E) HIDRANTE

Son puntos de salida de agua a lo largo de la línea lateral de distribución para riego. Mediante la cual se conecta la línea de riego móvil. Esta conexión se realiza por medio de un sistema de acople rápido, que consiste en una válvula automática y un dispositivo “bayoneta”, que hace que la salida de agua a través de la manguera y por los aspersores sea muy práctica y fácil.

#### F) LÍNEA MÓVIL DE APLICACIÓN DE ASPERSIÓN

Consiste en una manguera con aspersores que es conectado al hidrante, para regar en forma rotativa o por turnos todo el sector de riego. Si el sector de riego consiste en varias propiedades, la línea de riego es compartida entre los usuarios o regantes de ese sector.

### 3.3. PLANIFICACIÓN DE RIEGO PRACTICADO

La Planificación de Riego practicada por los regantes de la Tubería de Distribución N° 02 son las consideraciones empíricas que asumen para realizar la práctica del riego, propias del raciocinio común o alguna experiencia de campo asimilada. Sin embargo, no necesariamente se alinean con prescripciones técnicas, dispuestas por un profesional especializado. Así para nuestro caso, los regantes de la Localidad de Astobamba, se han planificado regar sus parcelas empleando un determinado tipo de aspersor, una determinada línea de aspersión, un determinado tiempo de riego y una determinada frecuencia de riego, que se describen en forma detallada a continuación:

#### 3.3.1 TIPO ASPERSOR

El tipo de Aspersor usado por los regantes tiene las siguientes características, especificadas técnicamente en su catálogo. A saber:

- Marca : VIR
- Modelo : 50
- Boquilla : 4 mm
- Presión referencial :  $2.76 \text{ Kg/cm}^2$  (27.6 mca)
- Caudal : 1,105 l/h (0.307 l/s)
- Diámetro de riego : 24 m

Debe entenderse que las características de riego (caudal, diámetro de riego) de un mismo tipo de aspersor van a ir variando en una relación proporcional con respecto a la presión hidráulica con la que trabaja.

## TIPO DE ASPERSOR

Gráfico N° 02: Aspersor VYRSA 50 boquilla de 4 mm.



Gráfico N° 03: Especificaciones des aspersor

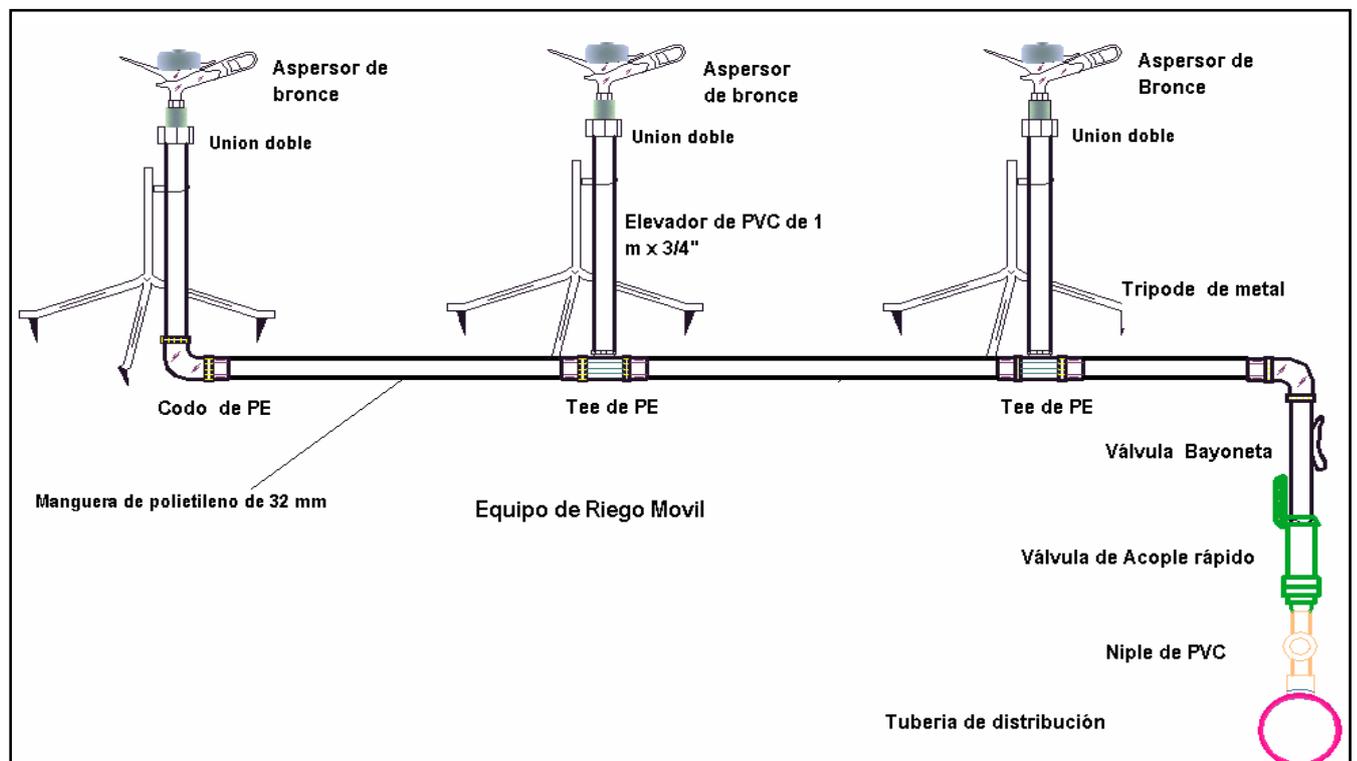
PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	2,76
CAUDAL (l/h)	1.105
Diámetro Boq. (mm)	4 P/C
Fecha	06/14/02
Observador	C.I.T
Vel. Rot. (min/rev)	0,54
Altura aspersor (m)	0,60
Duración (min)	60
T°	20°
Hr	20:00
Velocidad viento	0

### 3.3.2 LÍNEA MÓVIL DE APLICACIÓN DE ASPERSIÓN

La cantidad de Líneas Móviles de Aspersores que usan los regantes son 4 y cada una consta de 5 aspersores, separados equidistantemente. La Línea Móvil de Aspersores es una manguera de polietileno de 3/4" de diámetro, a cual se conectan, mediante accesorios HDPE, los aspersores VIR 50. La manguera tiene una longitud que depende de la ubicación del Hidrante de donde riega, así:

- Cuando riega desde el Hidrante No 01: 48.33 m. Y se extiende desde 33m (Turno 01) hasta 48.33 m (Turno 03).
- Cuando riega desde el Hidrante No 02: 46.17 m. Y se extiende desde 35.17m (Turno 03) hasta 46.17m (Turno 01).
- Cuando riega desde el Hidrante No 03: 48.17 m. Y se extiende desde 34.05m (Turno 03) hasta 48.17 m (Turno 01).
- Cuando riega desde el Hidrante No 62.00 m. Y se extiende desde 37.75 m (Turno 03) hasta 62.00 m (Turno 01).

Gráfico N° 04: Línea Móvil de Aplicación de Aspersión



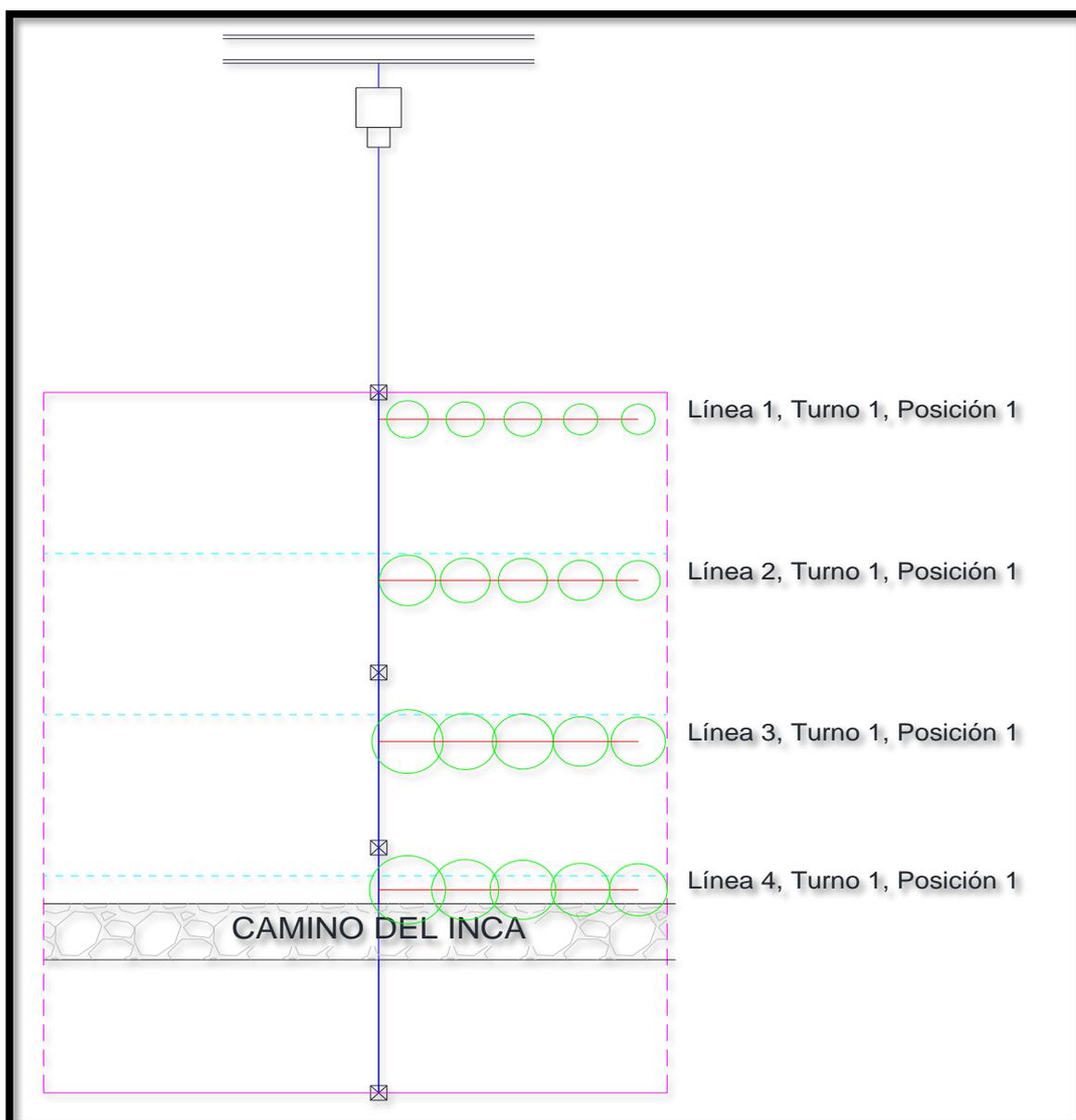
### **3.3.3 TIEMPO DE RIEGO**

El Tiempo de Riego que emplean los regantes de la Tubería de Distribución N° 02, para realizar el riego a través de la Línea Móvil de Aplicación de Aspersión es de 12 horas. El riego lo realizan en dos momentos del día, el diurno desde las 6 am hasta 6 pm del mismo día, y el nocturno desde las 6 pm hasta las 6 am del día siguiente, con una duración de 12 horas cada uno, respectivamente.

### **3.3.4 FRECUENCIA, TURNOS Y POSICIONES DE RIEGO**

La Frecuencia de Riego que practican los regantes de la Tubería de Distribución N° 02, para realizar el riego a través de la Línea de Aplicación de Aspersión es de 3 días. Es decir cada 3 días vuelve a regar cada turno. Esta frecuencia define los Turnos de Riego, por lo tanto se tendrán 3 Turnos de Riego, con doble posición por día (diurna 12 horas y nocturna 12 horas). La investigación se realizó en época de estiaje, en ausencia de lluvias, por lo que la Frecuencia de Riego está dada en estas condiciones. Finalmente, se practican 3 Turnos de Riego, 2 Posiciones de Riego por día, 4 Líneas Móviles de Aplicación, lo que consecuentemente resulta un total de 24 Posiciones de Riego por aspersión.

Gráfico N° 05: Posiciones y turnos de las líneas de aplicación



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 05 muestra cómo se realizó la toma de datos con el contómetro, donde se inició con la posición 1, en el turno 1, esto sincronizado en las 4 líneas de distribución, a su vez se instaló en cada hidrante con su respectiva posición 5 aspersores como muestra el gráfico con los diámetros reflejados esto durante 12 horas en el primer día.

### **3.4. Datos meteorológicos**

Los datos fueron proporcionados por la caseta meteorológica del SENAHMI con sede en Yanahuanca ubicado en el mismo distrito de Yanahuanca, lugar cercano donde se ejecutó el presente trabajo de investigación. Estos datos meteorológicos son un promedio de los 10 años.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población en estudio lo conforma todo el Sistema de Riego de Astobamba, con un Canal de Conducción de 1.2 Km, conformado por 11 Tuberías de Distribución.

#### **3.5.2. Muestra**

La toma de muestra fue representativa de la población en estudio.

La muestra fue la Tubería de Distribución No 02, que se ubica en la Cámara de Riego No 02 del Canal de Conducción entubado del Sistema de Riego de Astobamba.

### **3.6. Materiales y equipos**

#### **3.6.1 Materiales**

- Wincha de 50ml
- Flexómetro de 5ml
- Accesorios HDPE
- Aspersores de varios tipos
- Parantes
- Mangueras de polietileno
- Libreta de campo

- Carta nacional
- Lápiz
- Lapicero
- Borrador
- Papel A-4

### **3.6.2 Equipos**

- Cámara fotográfica
- Impresora Laser HP
- Computadora
- Caudalímetro
- Contómetro de agua
- Manómetro
- GPS
- USB

## **3.7. Procedimiento de la Investigación**

### **3.7.1 Fase Preliminar**

- Se ratificó el permiso del uso del Sistema de Riego de Astobamba ante la autoridad de riego de la localidad.
- Limpieza y mantenimiento del Sistema de Riego de Astobamba.
- Se hizo la abertura regulada de las compuertas en la bocatoma del Sistema de Riego de Astobamba, para el ingreso del agua hacia la línea de conducción. Se debe tener precaución con el rebalse del agua en este conducto.
- Se indagó en la comunidad sobre la planificación de riego practicada.
- Desde cada hidrante Instalar la manguera de polietileno con aspersores, conjuntamente con los instrumentos de medición, de acuerdo a la planificación de riego elegida.

- Se hizo la abertura de la válvula de ingreso a la Tubería de Distribución. El cierre y apertura de esta válvula se realizará cuantas veces se conecte los instrumentos de medición, como caudalímetro, contómetro de agua y manómetros.
- Se aforó el caudal del Canal de Conducción, como información de referencia.
- Se aforó el caudal de ingreso a la Cámara de Riego, como información de referencia.
- Descripción de las especificaciones técnicas de los Aspersores a utilizar en la investigación.

### **3.7.2 Fase de Campo**

#### **A) Respecto de la Demanda de Agua**

- Se hizo el levantamiento topográfico del Canal de Conducción y la Tubería de Distribución con sus respectivos hidrantes.
- Delimitación in-situ del área de influencia de la Tubería de Distribución No 2.

#### **B) Respecto de la Oferta de Agua**

- Se ubicó y marco los puntos de aforo.
- Se excavó, descubrió y secortó la Tubería de Distribución No 02, antes del hidrante en funcionamiento, a fin de quedar expedito para la instalación del caudalímetro.
- Se instaló el caudalímetro en la línea de distribución de la tubería N° 02 antes de los hidrantes.

- Se tomó lectura en el caudalímetro esto con las mangueras en funcionamiento con aspersores arriba, medio y abajo del hidrante.
- Se tomó mediciones referenciales de las presiones estáticas antes del caudalímetro.
- Se midió las áreas de riego con los diámetros de humedecimiento de los aspersores.

### 3.7.3 Fase de Gabinete

#### A) Respecto de la Demanda de Agua

- Estimación de uso consuntivo de pastos en la zona del sistema de riego.
- Estimación de la demanda de agua de los pastos con el sistema de riego.

#### B) Delimitación del Área de Riego

El área de riego está delimitada por el área de influencia de la línea de distribución N° 02, lo cual corresponde a delimitar en dos sentidos, a saber:

- **Delimitación Longitudinal**, está referida a las líneas medias entre la Tubería de Distribución N° 01 y las Tuberías de Distribución N° 01 y N° 03. La distancia que existe entre estas dos líneas medias longitudinales de división constituye el ancho del área de riego. Para nuestro caso, este ancho, en promedio es **80 m**.
- **Delimitación Transversal**, está referida a las líneas que pasan transversalmente por del primer hidrante y por el último hidrante de

la Tubería de Distribución N° 02. La distancia que existe entre estas dos líneas transversales constituye el largo del área de riego. Para nuestro caso, este largo, es **100 m**.

### **C) Respecto de la Oferta de Agua**

- Procesamiento de datos y conversión de unidades.
- Dibujo de planos con la distribución de laterales, turnos y posiciones de la planificación de riego.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De los trabajos realizados en campo y gabinete se llegaron a los siguientes resultados:

### **4.1 CANTIDAD DE AGUA QUE OFERTA LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN N°02 DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE LA COMUNIDAD DE ASTOBAMBA.**

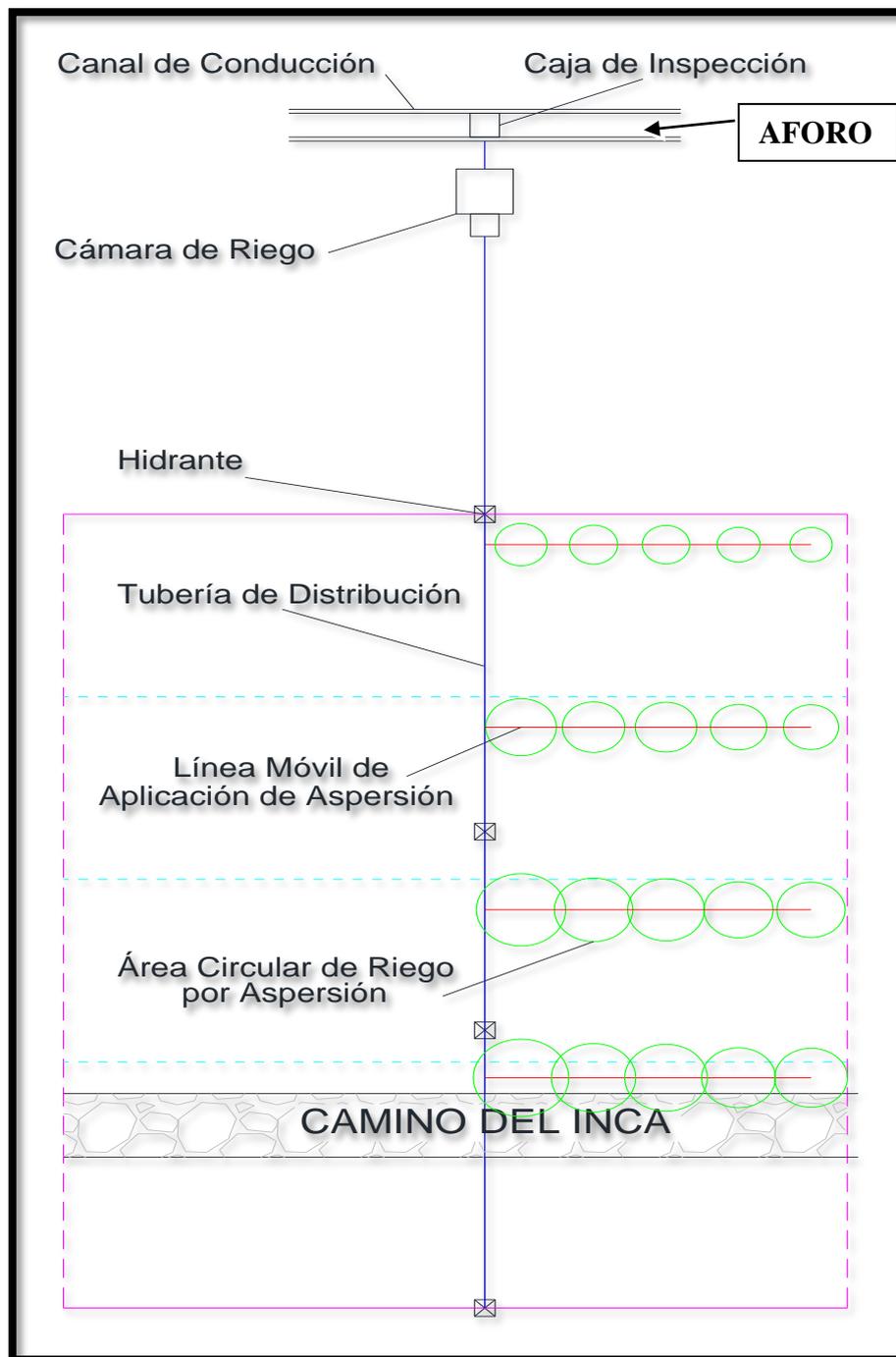
#### **OFERTA HÍDRICA**

La Oferta Hídrica de la Tubería de Distribución No 02 del Sistema de Riego por Aspersión de Astobamba, está referida a la cantidad (litros) que fluye por unidad de tiempo (segundo) en cada componente de circulación del flujo de agua en el sistema de riego, relacionado con la Tubería de Distribución No 02. Esto es desde el canal de conducción, tubería de distribución, hasta la línea móvil de aplicación con aspersores. Esta medición del caudal se denomina aforo. Entonces se tendrá tres puntos de aforos, a saber:

#### **4.1.1 AFORO EN EL CANAL DE CONDUCCIÓN (Canal Matriz)**

Se midió el flujo de agua en el Canal de Conducción, para tener conocimiento del máximo caudal que fluye en este canal. En este aforo se aplicó el método velocidad-área.

Gráfico N° 07: Aforo canal de conducción.



Cuadro N° 04: Aforo promedio en el Canal de Conducción

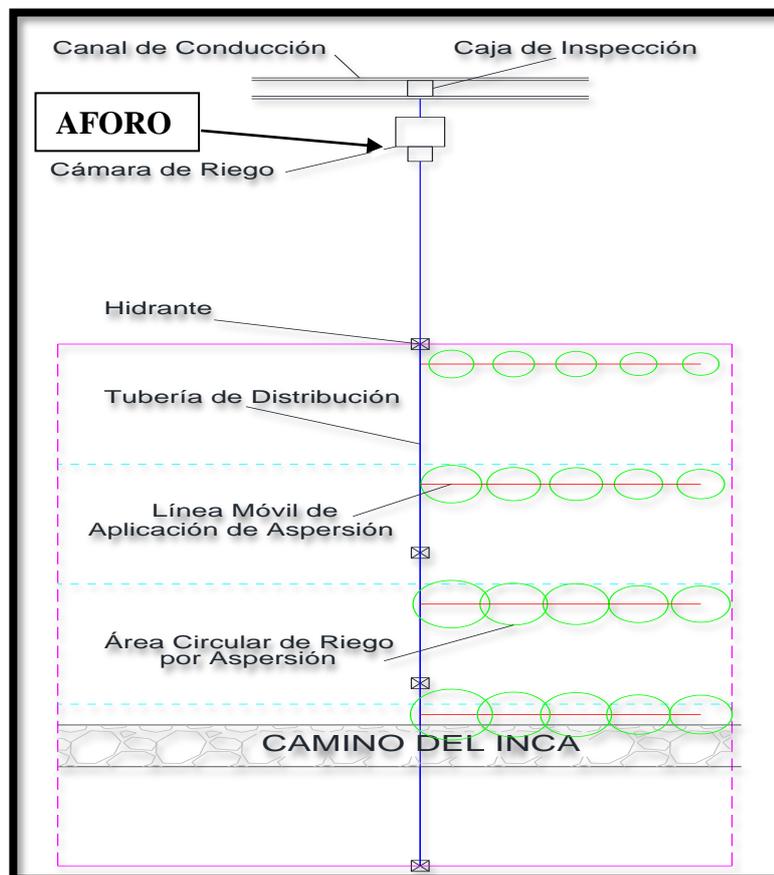
DESCRIPCIÓN	AFORO
CANAL DE CONDUCCIÓN	25 l/s

Este aforo de 25l/s realizado en el canal de conducción, ceca del ingreso a la cámara de riego N° 02, se considera suficiente para regar los terrenos de las 08 tuberías de distribución restantes del sistema de riego por aspersión de Astobamba, dado que estas tuberías tienen un diámetro de 1" y el máximo promedio de caudal de circulación es de 1 l/s.

#### 4.1.2 AFORO EN LA CÁMARA DE RIEGO

Se midió el flujo de agua que ingresa del Canal de Conducción a la Cámara de Riego. El caudal que ingresa a la Cámara de Riego es mucho mayor de la sale por la Tubería de Distribución. En este aforo se aplicó el método volumétrico.

Gráfico N° 08. Aforo en la cámara de riego.



Cuadro N° 05: Aforo promedio en el ingreso a la cámara de riego

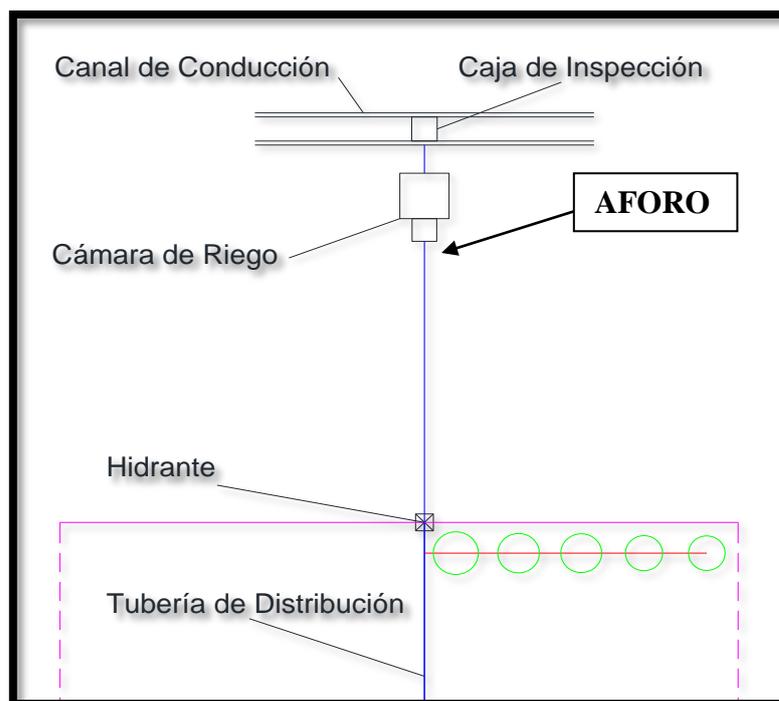
DESCRIPCIÓN	AFORO
CÁMARA DE RIEGO	1.8 l/s

Este aforo de 1.8 l/s tiene que ser mayor al caudal de servicio de la tubería de distribución, lo cual si se cumple como se observa en el acápite siguiente

#### 4.1.3 AFORO EN LA TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN (Línea Principal de Aspersión)

Se midió el flujo de agua en la Tubería de Distribución, para tener conocimiento del máximo caudal que esta tubería distribuye. En este aforo se utilizó el instrumento de medición denominado caudalímetro.

Gráfico N° 09: Aforo en las líneas de aplicación



Cuadro N° 06: Aforo representativo en el ingreso a la tubería de distribución.

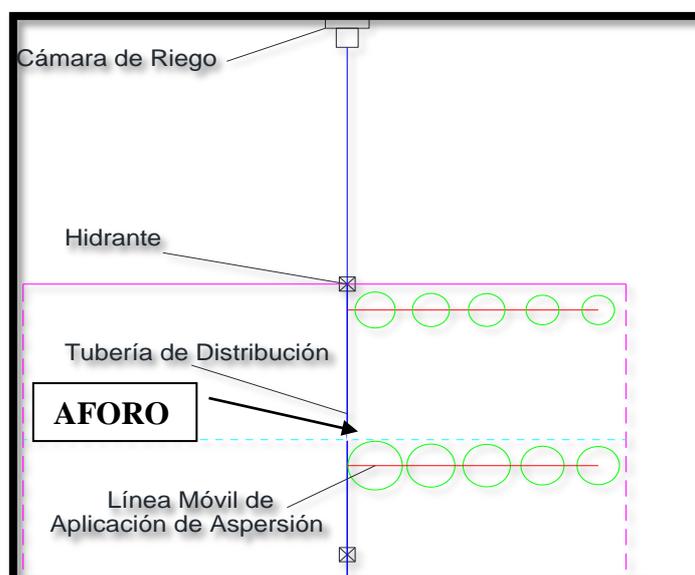
DESCRIPCIÓN	AFORO
TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN	0.64 l/s

Este aforo de 0.64 l/s es la suma representativa de los caudales de las cuatro líneas de aplicación que riegan simultáneamente, de acuerdo a la programación de riego que practican los regante. Este caudal sumatorio es el que se espera que satisfaga las necesidades hídricas del área unitaria de riego

#### 4.1.4 AFORO EN LA LÍNEA DE APLICACIÓN (Línea Móvil de Aspersores)

Se midió el flujo de agua en la Línea de Aplicación, para tener conocimiento de la oferta del caudal de riego que esta línea aplica. En este aforo se utilizó el instrumento de medición denominado contómetro de agua.

Gráfico N° 10: Aforo en la línea de aplicación



Cuadro N° 07: Aforos al ingreso a la línea de aplicación de aspersores

OFERTA		
POSICIÓN	PRESIÓN (PSI)	CAUDAL (l/s)
Hidrante 01	5	0.45
Hidrante 02	13	0.67
Hidrante 03	15	0.75
Hidrante 04	25	0.85

En el cuadro se observa que el caudal se incrementa cuando se incrementa la posición del hidrante, lo cual está relacionado con el aumento del desnivel topográfico. Esto se corrobora en la investigación de **Hereña (2012)**, que empleando una misma línea de aplicación, el caudal se incrementa de 0.047 l/s en el hidrante 01 (28 PSI de presión hidrodinámica) a 0.175 l/s en el hidrante 08 (115 PSI de presión hidrodinámica). Asimismo se verifica con los trabajos de **Tarazona (2013)**, que encontró en el hidrante 01, ubicado a 17.61 m. desde la cámara de riego (6.0 PSI de presión hidrodinámica), el caudal de salida por este fue de 0.65 l/s, mientras que el hidrante 07, ubicado a 77.50 m desde la cámara de riego (32.0 PSI de presión hidrodinámica), el caudal de salida por este fue de 1.20 l/s

Cuadro N° 08: Aforo promedio al ingreso a la línea de aplicación de aspersores

DESCRIPCIÓN	AFORO
LÍNEA DE APLICACIÓN	0.16 l/s

Este aforo de 0.16 l/s es la suma representativa de los caudales de las cuatro líneas de aplicación que riegan simultáneamente, de acuerdo a la programación

de riego que practican los regante. Este caudal sumatorio es el que se espera que satisfaga las necesidades hídricas del área unitaria de riego

#### **4.2 LA CANTIDAD DE AGUA QUE DEMANDAN LOS PASTOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN N°02 DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE LA COMUNIDAD DE ASTOBAMBA.**

##### **DEMANDA DE AGUA**

La Demanda Hídrica del área agrícola que corresponde regar a la Línea de Distribución No 02 del Sistema de Riego por Aspersión de Astobamba, está referida a los requerimientos de agua de los cultivos instalados (pastos) en esta área de influencia, para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Es decir el agua que necesita tomar desde distintos puntos para entregar a los pastos y cubrir sus necesidades hídricas por una frecuencia de 3 días y con un tiempo de riego de 12 hr/día. Sin embargo, lo que más importa es lo que se toma en la misma parcela, lo cual está referido a tomar el agua de la salida de la tubería de distribución hacia la línea de aplicación de aspersión.

Las demandas de agua por una Frecuencia de 3 días y con un Tiempo de Riego de 12 Hr/día, dependiendo del punto de toma de agua, resulta de operar aplicando las siguientes fórmulas:

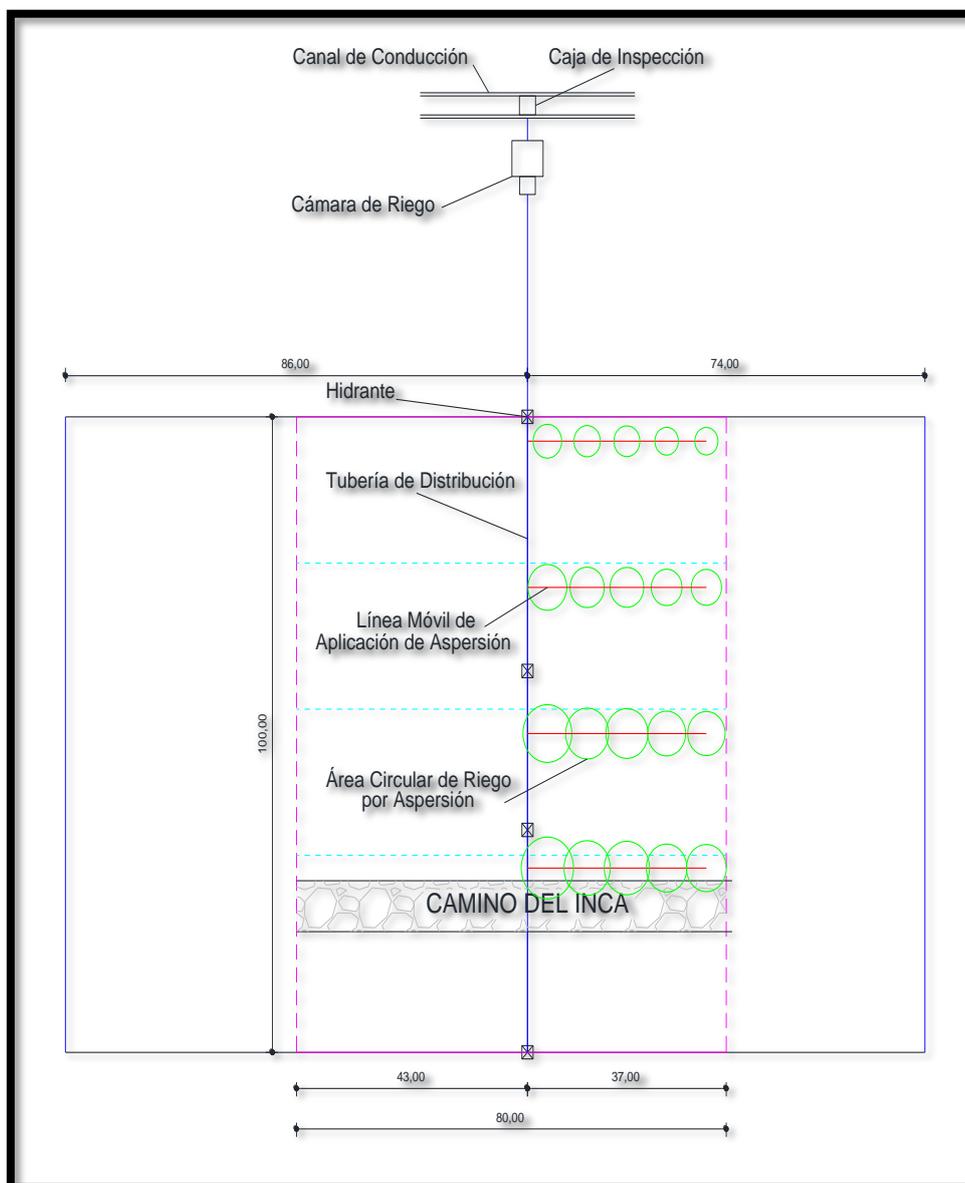
$$Q_{dem} = UC \times Fr / Tr / Er \times Aa \times 2.78$$

$$UC = ETP \times Kc$$

##### **4.2.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE RIEGO**

El Área de Riego está delimitada por el área de influencia de la Línea de Distribución N° 02, lo cual se delimito, el área de riego tiene las dimensiones 80 m. de ancho por 92 m. de largo, lo que equivale a un área de 7360m<sup>2</sup>.

Gráfico N° 11: Delimitación del área de riego



#### 4.2.2 USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS

Es la evapotranspiración real del cultivo (ETC), la misma que está en función de otros parámetros que se relacionan con el tipo de cultivo, periodo vegetativo y clima en que se desarrolla. Estos parámetros se detallan a continuación:

- **Evapotranspiración Potencial (ETP).** Para estimar este parámetro se ha utilizado la relación que existe entre la latitud y la ETP. Interpolando para una altitud 3280 msnm, se tiene una ETP de **2.72 mm/día.**

Cuadro N° 09: Relación entre la altitud y la evapotranspiración potencial

ALTITUD (msnm)	ETP (mm/día)
1500	4.5
2500	3.5

**Fuente:** Manual de Diseño de Pequeños Sistemas de Riego Por Aspersión Presurizados por Gravedad. PRONAMACHCS- Cajamarca. 1999.

- **Coefficiente del Cultivo (Kc).** Para nuestro caso el Kc del pasto es **1.00.**

Cuadro N° 10: Coeficientes promedios de cultivo – sub irrigación sistematizada

CULTIVO	Kc
Pasto	1.00

**Fuente:** Manual de Diseño de Pequeños Sistemas de Riego Por Aspersión Presurizados por Gravedad. PRONAMACHCS- Cajamarca. 1999.

Finalmente, el uso consuntivo de los cultivos, resulta de multiplicar la evapotranspiración potencial por el coeficiente de cultivo, lo que equivale a **2.72 mm/día**.

$$UC = ETP \times Kc = 2.72 \text{ mm/día} \times 1.00 = 2.72 \text{ mm/día}$$

### 4.2.3 EFICIENCIA DE RIEGO

Cuadro N° 11: Eficiencias de riego desde puntos de toma de sistema de riego por aspersión

PUNTO DE TOMA	EFICIENCIA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde la Captación, es el producto de:  <math>Ef_{\text{conducción}} \times Ef_{\text{distribución}} \times Ef_{\text{aplicación}}</math></li> </ul>	$95\% \times 90\% \times 82\% = 70\%$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde la Canal de Conducción, es el producto de:  <math>Ef_{\text{distribución}} \times Ef_{\text{aplicación}}</math></li> </ul>	$90\% \times 82\% = 74\%$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde la Tubería de Distrib., es:  <math>Ef_{\text{aplicación}}</math></li> </ul>	$82\%$

**Fuente:** Manual de Diseño de Pequeños Sistemas de Riego Por Aspersión Presurizados por Gravedad. PRONAMACHCS- Cajamarca. 1999.

Cuadro N° 12: Demandas hídricas promedio desde puntos de toma

PUNTO DE TOMA	EFICIENCIA DE RIEGO	AREA DEMANDADA	DEMANDA HÍDRICA
Línea de Aplicación	82%	613.3 m <sup>2</sup>	0.14 l/s
Tubería de Distribución	74%	2,453.3 m <sup>2</sup>	0.63 l/s
Canal de Conducción	70%	7,360.0 m <sup>2</sup>	1.99 l/s

### 4.3 BALANCE HÍDRICO

Se refiere a realizar una comparación entre la oferta de agua por parte del sistema de riego y la demanda de agua por parte de los pastos, respecto del área de riego materia de investigación. Este balance se evaluará contemplando distintos criterios, a saber:

#### 4.3.1 RESPECTO A LA COBERTURA DE AREA PROYECTADA CASO 1: LONGITUDINALMENTE, A LO LARGO DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN.

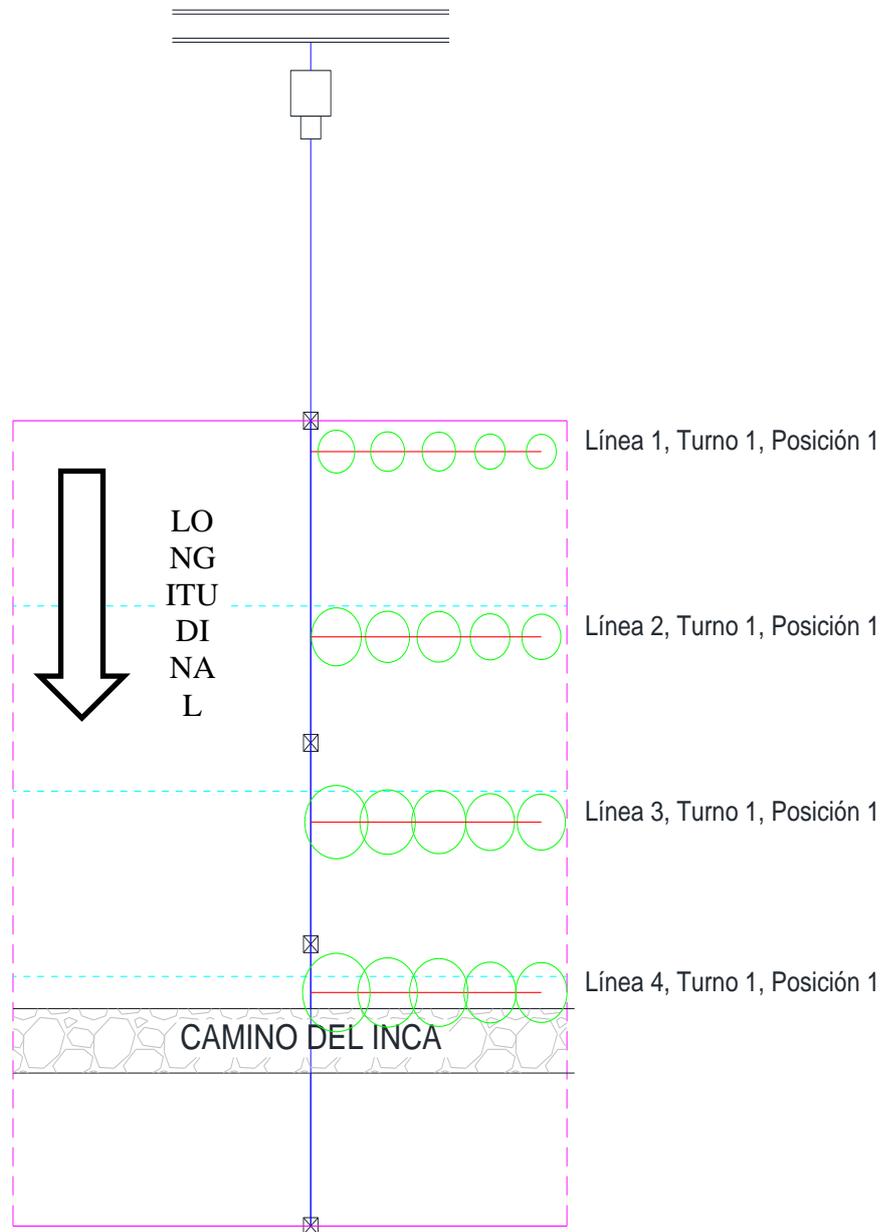
Analizaremos un primer caso, el longitudinal, el cual se refiere a evaluar a la cobertura de riego a lo largo de la Tubería de Distribución.

Cuadro N°13: Área de cobertura

<b>CASO 01: COBERTURA LONGITUDINAL</b>			
<b>BALANCE PROMEDIO DE COBERTURA DE ÁREA – CON TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN</b>			
<b>ÁREA TOTAL PROYECTADA (Demanda) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL REGADA (Oferta) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL NO COBERTURADA (Balance)</b>	
		<b>m2</b>	<b>%</b>
2,453.3	1,684.3	769.0	31%

Gráfico N° 12: Balance entre área proyectada y área regada

**CASO1: LONGITUDINAL**



Respecto a los diámetros de las áreas de riego, se observa que estos se incrementan de acuerdo al incremento de desnivel de la posición de los hidrantes. Esto se puede corroborar con la investigación de Hereña, que empleando una línea de aplicación con 02 aspersores, el diámetro de riego se incrementó de 19 m. en el hidrante 01 (24.66 m. de desnivel desde la cámara de riego) a 47m.en el hidrante 08 (172.60 m. de desnivel).

**4.3.2 RESPECTO A LA COBERTURA DE AREA PROYECTADA  
CASO 2: TRANSVERSALMENTE, A LO ANCHO DE LA LÍNEA  
DE APLICACIÓN (LÍNEA MÓVIL DE ASPERSORES).**

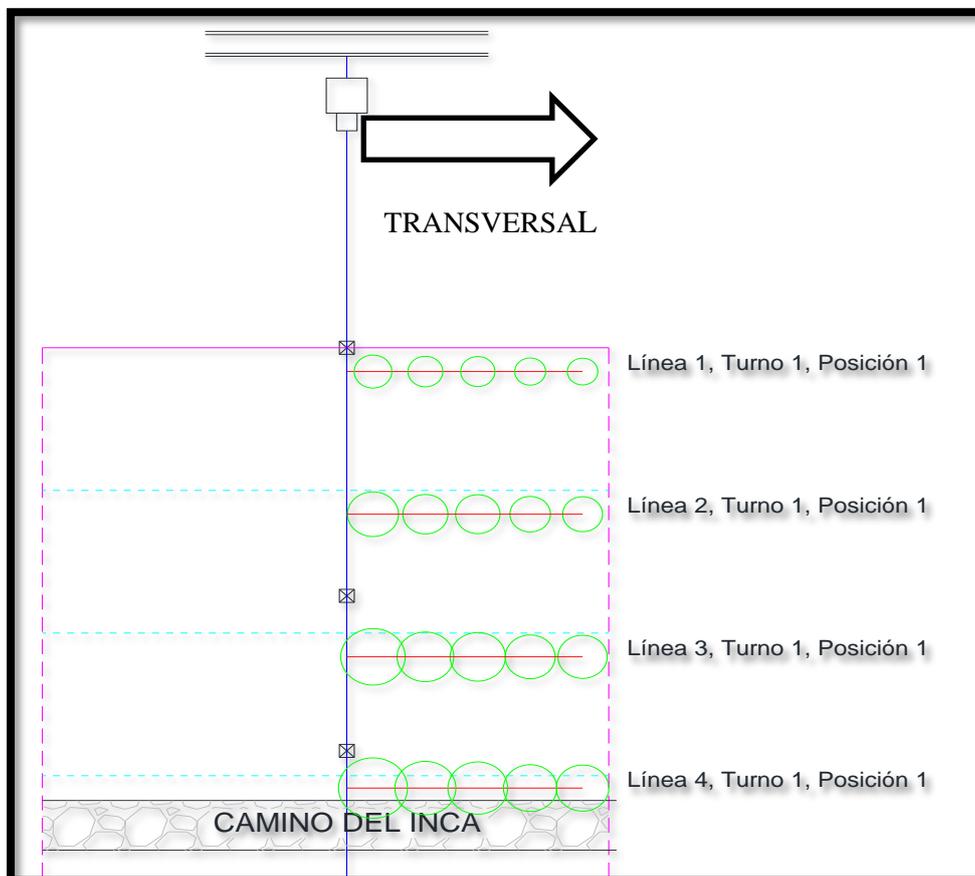
Analizaremos en segundo caso, el transversal, el cual se refiere a evaluar a la cobertura de riego a lo ancho de la Línea de Aplicación.

Cuadro N° 14: Cobertura transversal del área.

<b>CASO 02: COBERTURA TRANSVERSAL</b>			
<b>BALANCE PROMEDIO DE COBERTURA DE ÁREA – CON LÍNEA DE APLICACIÓN</b>			
<b>ÁREA TOTAL PROYECTADA (Demanda) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL REGADA (Oferta) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL NO COBERTURADA (Balance)</b>	
		<b>m2</b>	<b>%</b>
613.3	421.1	192.3	31%

Gráfico N° 13: Balance entre área proyectada y área regada

**CASO2: TRANSVERSAL**



Cuadro N° 15: Cobertura del área.

<b>COBERTURA TOTAL</b>			
<b>BALANCE TOTAL DE COBERTURA DE ÁREA – CON CANAL DE CONDUCCIÓN</b>			
<b>ÁREA TOTAL PROYECTADA (Demanda) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL REGADA (Oferta) m2</b>	<b>ÁREA TOTAL NO COBERTURADA (Balance)</b>	
		<b>m2</b>	<b>%</b>
7,360.0	5,052.9	2,307.1	31%

### 4.3.3 RESPECTO A LA SATISFACCIÓN DEL ÁREA REGADA CASO1: POR LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA

Se observa que el área de riego que el sistema de riego logra coberturar, no se satisfacen las necesidades hídricas de los pastos. Esta observación se puede apreciar en dos casos, por la cantidad de agua y por el momento de riego. Analizaremos el primer caso, el por la cantidad de agua.

Cuadro N° 16: Balance hídrico oferta – demanda de área regada en puntos críticos de tomas de agua

<b>CASO 01A: SATISFACCIÓN DE SUFICIENCIA DE CANTIDAD DE RIEGO</b>			
<b>BALANCE PROMEDIO DESDE INGRESO A TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN</b>			
<b>CAUDAL PARA 4 ÁREAS UNITARIAS DE RIEGO SIMULTÁNEO Por 12 Hr. y 3días (Demanda) l/s</b>	<b>CAUDAL QUE INGRESA A LA TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN (Oferta) l/s</b>	<b>CAUDAL REQUERIDO SATISFECHO EN EXCESO (Balance)</b>	
		<b>l/s</b>	<b>%</b>
0.63	0.64	0.013	2%

**NOTA:** Una tubería de distribución corresponde regar simultáneamente 4 áreas unitarias.

<b>CASO 01B: SATISFACCIÓN DE SUFICIENCIA DE CANTIDAD DE RIEGO</b>			
<b>BALANCE PROMEDIO DESDE INGRESO A LÍNEA DE APLICACIÓN</b>			
<b>CAUDAL PARA 1 ÁREA UNITARIA DE RIEGO Por 12 Hr. y 3días (Demanda) l/s</b>	<b>CAUDAL QUE INGRESA A LA LÍNEA DE APLICACIÓN (Oferta) l/s</b>	<b>CAUDAL REQUERIDO SATISFECHO EN EXCESO (Balance)</b>	
		<b>l/s</b>	<b>%</b>
0.14	0.16	0.019	13%

**NOTA:** Una línea de aplicación de aspersion corresponde regar 1 área unitaria.

**4.3.4. RESPECTO A LA SATISFACCIÓN DEL ÁREA REGADA**  
**CASO2: POR EL MOMENTO OPORTUNO DE RIEGO**

Analizaremos el segundo caso, por el momento oportuno de riego.

Cuadro N° 17: Balance del cumplimiento de la frecuencia de riego

<b>CASO 02: SATISFACCIÓN DE OPORTUNIDAD DE MOMENTO DE RIEGO</b>			
<b>BALANCE PROMEDIO</b>			
<b>FRECUENCIA PROYECTADA (Demanda) Día</b>	<b>FRECUENCIA REAL (Oferta) día</b>	<b>DEMORA EN EL RIEGO OPORTUNO (Balance)</b>	
		<b>Día</b>	<b>%</b>
3.0	4.5	1.5	50%

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en campo y gabinete en todo el desarrollo de la investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La evaluación de la oferta hídrica de la tubería de distribución N° 02 del sistema de riego por aspersión de Astobamba, está referida a la cantidad de flujo de agua denominado caudal, que ofrece en cada conducto de agua, especialmente el que fluye a través de sus líneas de aspersores. Para ello se realizaron aforos.
  - Aforo en el canal de conducción (canal matriz): 25 l/s.
  - Aforo en la cámara de riego: 1.8 l/s.
  - Aforo en la tubería de distribución (línea principal de aspersión): 0.64 l/s.
  - Aforo en la línea de aplicación (línea móvil de aspersores): 0.16 l/s.
2. Según la planificación de riego practicada por los regantes, no se logra cubrir toda el área proyectada para regar (7360 m<sup>2</sup>) por la línea de distribución N° 02, existiendo un déficit de 31% de área no regada por los diámetros de riego de los aspersores, que corresponde a 2,307.10 m<sup>2</sup> no regados.
3. Según la planificación de riego practicada por los regantes, no se logra satisfacer con el riego oportuno (cada 3 días) por las líneas

móviles de aplicación (04), existiendo una demora promedio de 1.5 días.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a la experiencia obtenida en la toma de datos de campo, así como también en todo el desarrollo de la investigación, recomendamos lo siguiente:

1.- Frente a la planificación de riego practicada por los regantes del Sistema de Riego de Astobamba, a fin de mejorar la cobertura de área de riego, para lo cual se requiere también mayores presiones de trabajo.

2.- Respecto a la margen izquierda del área total de riego, transversalmente, las líneas móviles de aplicación no llegan a cubrir el área proyectada a regar, por lo que se sugiere incrementar a 01 la cantidad de aspersores en este margen. Sin embargo, para que logre funcionar eficientemente, también se requiere mayores presiones de trabajo.

3.- Como consecuencia de las recomendaciones anteriores, en definitiva se tiene que recomendar que, para superar dificultades de falta de presión, es necesario cambiar el diámetro de la línea de distribución. Esto amerita realizar un cálculo hidráulico. Este cambio de tubería, que importa 20 tubos PVC SAP C-10 2", no resulta muy costoso si se distribuyen entre 8 regantes que riegan en esta zona.

4.- La otra recomendación extrema, pero de solución, es suprimir un Hidrante y replantear la Planificación de Riego. Cuando la tubería tiene menos salidas de agua, mejora las características hidráulicas de presión y caudal.

5.- Finalmente, se recomienda que el riego con aspersión se realice en forma cíclica de arriba hacia abajo, por tratarse de una zona de ladera. Esto es con la finalidad de evitar demasiado tiempo muerto en el traslado de las líneas móviles de aplicación.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

AGÜERO PITTMAN, Roger. 1997. “Agua para Poblaciones Rurales”. Editorial SER. Lima-Perú.

BAZAN AGUILAR, Ernesto. 2005. “Diseño, operación y mantenimiento del Sistema de Riego por Aspersión en la Comunidad de Misca, Prov. Paruro, Dep. Cuzco”. Tesis. UNALM. Facultad de Ingeniería Agrícola. La Molina. Perú.

CHEREQUE MORAN, Wendor. 1990. “Hidrología”. Editorial CONCYTEC. Lima – Perú.

CHEREQUE MORAN, Wendor. 1990. “Mecánica de Fluidos 2”. Editorial STUDIUM. Lima – Perú.

CHEREQUE MORAN, Wendor. 1990. “Mecánica de Fluidos 1”. Editorial STUDIUM. Lima – Perú.

CORNEJOMENDOZA, José Gustavo. 1999. “Evaluación hídrica del sistema de riego presurizado en una parcela demostrativa del Proyecto Majes”. Tesis. UNALM. Facultad de Ingeniería Agrícola. La Molina. Perú.

DECHMI FARIDA. 2002. “Gestión del agua en Sistemas de Riego por Aspersión en el Valle del Ebro”. Tesis. Universidad de Lleida. Facultad de Ingeniería Agrónoma. Zaragoza. España.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. 1990. “Riego por Aspersión”. Editorial DIANA. México.

- HEREÑA LOYOLA, Valentín Yerson. 2012. “Determinación de parámetros Hídricos-Hidráulicos para la planificación del riego por aspersión en el Caserío de Lucmapampa – Región Pasco”. Tesis. UNDAC. Escuela de Agronomía. Pasco. Perú.
- FAO. 1993. “Cropwat - Programador de Riego”. Editorial FAO Publicaciones. Roma-Italia.
- GARCIA RIVERA, Ismael. 1985“Programación de Riego”. Editorial INIPA. Lima – Perú.
- GARCIA VILLANUEVA, Jerónimo. 1992. “Agrometeorología”. Editorial UNALM. Lima – Perú.
- GARCIA CASILLAS, Ignacio. 1997. “Sistema de Riego por Aspersión y Goteo”. Editorial TRILLAS. México.
- IRROMETER. 2011. “Guía del usuario del tensiómetro Irrometer”. Manual. Barcelona. España.
- JAN HENDRIKS. 1994. “Manual de Riego por Bombeo”. Editroial SNV. Lima – Perú.
- LAZO PEREZ, Jesús. 2006. “Tecnología para el riego”. Editorial CONCYTEC. Lima-Perú.
- MACHUCA LOPEZ, Jaime. 1990. “Instalación, operación y evaluación del Sistema de Riego por Aspersión en el Plan Piloto San Marcos-Cajamarca”. Tesis. UNALM. Facultad de Ingeniería Agrícola. La Molina. Perú.

MARTEL ORTIZ, Mery. 1990. “La producción de Vainita cv. ‘Bush Blue Lake 92’, como función de la frecuencia de riego por aspersión”. Tesis. UNALM. Facultad de Ingeniería Agrícola. La Molina. Perú.

MATAIX, Claudio. 1999. “Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas”. Editorial Alfaomega. Oxford – México.

MEJIA M., J. Abel. 2001. “Hidrología Aplicada”. Editorial CIP-FIA. Lima – Perú.

PÉREZ SOLIS, Federico Ulises. 2007. “Diseño y construcción de un banco de pruebas para la determinación de la pérdida de cargas en accesorios de los sistemas de riego a presión”. Tesis. UNALM. Facultad de Ingeniería Agrícola. La Molina. Perú.

PRONAMACHCS. 1994. “Manual para Diseño y Construcción de Canales”. Lima - Perú.

PRONAMACHCS. 1999. “Diseño de Pequeños Sistemas de Riego por Aspersión Presurizados por Gravedad”. Cajamarca-Perú.

SÁNCHEZ REYES, Cristian. 2005. “Sistemas de Riego – Uso, Manejo e Instalación”. Editorial RIPALME. Lima – Perú.

SCS-DA/EE.UU. 1995. “Riego por Aspersión”. Editorial DIANA. México.

SHAMES, Irving H. 1980. “La Mecánica de Fluidos”. Editorial Mc GRAW-HILL. México.

UNALM. 1993. “Curso Móvil de Irrigación”. Editorial INABEC. Lima – Perú.

VÁSQUEZ VILLANUEVA, Absalón. 1997. “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Editorial EDIAS S.A. Lima-Perú.

VÁSQUEZ VILLANUEVA, Absalón.1992. “El Riego”. Editorial Talleres

ONERN. Lima –Perú.

VILLON BEJAR, Máximo. 1994. “Hidráulica de Canales”. Editorial Tecnológica de

Costa Rica. Costa Rica.

