

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TRABAJO DIRIGIDO**

**“COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL ASPERSOR ARTESANAL  
PARA LA DISTRIBUCIÓN OPTIMA DEL RIEGO EN  
REGIONES DE VALLE”**

**HILARIÓN CHÁVEZ TICONA**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2011**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL ASPERSOR ARTESANAL  
PARA LA DISTRIBUCIÓN OPTIMA DEL RIEGO EN  
REGIONES DE VALLE”**

*Trabajo Dirigido presentado como requisito parcial  
para optar el Título de  
Ingeniero Agrónomo*

**Hilarión Chávez Ticona**

**Asesor:**

Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca .....

**Revisores:**

Ing. Genaro Serrano Coronel .....

Ing. Rolando Céspedes Paredes .....

**Aprobado**

**Presidente Tribunal Examinador** .....

**La Paz – Bolivia  
2011**

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE GRAFICAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
Dedicatoria .....	vii
Agradecimientos .....	viii
RESUMEN .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Planteamiento del problema .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Metas .....	4
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 Diseño Hidráulico .....	5
2.2 Métodos de riego .....	6
2.2.1 Riego presurizado .....	6
2.3 Sistemas de riego .....	8
2.3.1 Riego por aspersion .....	8
2.3.1.1 Aspersores .....	9
2.3.1.2 Emisores .....	10
2.3.1.3 Aplicación del agua de riego por aspersion .....	13
2.3.1.4 Caracterización del reparto de agua .....	14
2.4 Adaptabilidad del método .....	15
2.4.1 Principales ventajas del riego por aspersion .....	15
2.4.2 Principales inconvenientes del riego por aspersion .....	16
2.5 Disponibilidad de agua .....	17

2.6 Variables climáticas .....	18
2.7 Aspersor artesanal .....	18
2.8 Diseño geométrico .....	19
2.9 Eficiencia de los sistemas de riego .....	19
<b>III. SECCIÓN DIAGNÓSTICA .....</b>	<b>23</b>
3.1 Materiales y métodos .....	23
3.1.1 Localización y ubicación geográfica .....	23
3.1.1.1 Límites territoriales .....	25
3.1.2 Características del lugar .....	26
3.1.2.1 Población .....	26
3.1.2.2 Topografía .....	26
3.1.2.3 Clima .....	27
3.1.2.4 Tipo de suelo .....	27
3.1.2.5 Recursos hídricos .....	27
3.1.2.6 Superficie de tierras bajo riego y a secano .....	29
3.1.2.7 Fauna y flora .....	29
3.2 <i>Materiales</i> .....	30
3.2.1 Materiales para la construcción del aspersor artesanal .....	30
3.2.2 Herramientas para la construcción del aspersor artesanal .....	30
3.2.3 Otros accesorios para la instalación del sistema .....	31
3.2.4 Equipos e instrumentos de medición .....	31
3.3 <i>Metodología</i> .....	32
3.3.1 Primera etapa .....	33
3.3.2 Segunda etapa .....	33
3.3.2.1 Diseño geométrico del aspersor artesanal .....	33
3.3.2.2 Diseño del aspersor artesanal en perspectivas .....	35
3.3.2.3 Proceso de construcción del aspersor artesanal .....	37
3.3.3 Tercera etapa .....	45
3.3.4 Cuarta etapa .....	46
3.4 Evaluación de los componentes de la instalación .....	46
3.5 Parámetros de evaluación que caracteriza la distribución del agua .....	47
3.5.1 Coeficiente de uniformidad de Christiansen .....	48

3.5.2 Coeficiente de distribución .....	49
3.5.3 Eficiencia de descarga .....	49
<b>IV. SECCIÓN PROPOSITIVA .....</b>	<b>52</b>
4.1 Aspectos propositivos del Trabajo Dirigido .....	52
4.2 Análisis de resultados .....	55
4.2.1 Diseño y construcción del aspersor artesanal .....	56
4.2.2 Características técnicas del aspersor artesanal .....	60
4.2.3 Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal .....	62
4.2.3.1 Evaluación del coeficiente de uniformidad de riego .....	63
4.2.3.2 Evaluación del coeficiente de distribución .....	68
4.2.3.3 Evaluación de la eficiencia de descarga de riego .....	70
4.2.3.4 Evaluación del caudal emitido por los emisores .....	71
<b>V. SECCIÓN CONCLUSIVA .....</b>	<b>73</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>VII ANEXOS .....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfico 1. Resultado de coeficiente de uniformidad .....	65
Grafico 2. Resultado de uniformidad de distribución .....	69
Grafico 3. Caudal emitido por las boquillas del aspersor artesanal .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio .....	24
Figura 2. Límites territoriales del municipio de Sorata .....	25
Figura 3. Vista panorámica del municipio de Sorata .....	26
Figura 4. Fuentes de agua Municipio Sorata .....	28
Figura 5. Materiales de construcción del aspersor artesanal .....	30
Figura 6. Herramientas para la construcción del aspersor .....	30
Figura 7. Accesorios para la instalación del sistema de riego .....	31
Figura 8 <sup>a</sup> . Equipos e instrumentos de medición .....	31
Figura 8 <sup>b</sup> . Equipos e instrumentos de medición .....	32
Figura 9. Diseño a mano alzada del aspersor artesanal .....	34
Figura 10. Diseño de planta del aspersor .....	34
Figura 11. Diseño de elevación del aspersor .....	35
Figura 12 <sup>a</sup> . Aspersor artesanal en perspectiva 1 .....	35
Figura 12 <sup>b</sup> . Aspersor artesanal en perspectiva 2 .....	35
Figura 12 <sup>c</sup> . Aspersor artesanal en perspectiva 3 .....	36
Figura 13. Plano para el armado del aspersor artesanal detallado .....	43
Figura 14. Aspersor artesanal construido .....	44
Figura 15. Instalación de la red de aspersores la para evaluación .....	47
Figura 16. Construcción del aspersor artesanal en la comunidad Jumuco .....	57
Figura 17. Realización de pruebas del aspersor en campo .....	58
Figura 18. Aspersor artesanal y sus respectivos aleros .....	59
Figura 19. Red de aspersores artesanales en funcionamiento .....	63

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valores normales de x en diferentes tipos de emisores .....	5
Cuadro 2. Eficiencia de aplicación del riego en porcentajes.....	21
Cuadro 3. Intervalo de probables de CU y UD .....	22
Cuadro 4. Calificación de la uniformidad de riego.....	22
Cuadro 5. Medidas variables en el diseño del aspersor artesanal.....	56
Cuadro 6. Caracterización técnica del aspersor artesanal.....	60
Cuadro 7. Resultado del coeficiente de uniformidad.....	64
Cuadro 8. Resultado del coeficiente de distribución.....	68
Cuadro 9. Resultado de la eficiencia de descarga de riego.....	70
Cuadro 10. Resultado del caudal emitido por las boquillas.....	71

## **DEDICATORIA:**

*Especialmente a mi madre Teresa por su inmenso amor y ternura.*

*A mi padre Eusebio por su constante apoyo, y comprensión, que me brindo en todos estos años.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a todos mis seres amados, a aquellos que con su apoyo incondicional, lograron impulsarme cuando no lograba avanzar.

A mi asesor y amigo Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca, por todo el tiempo que dedicó a la orientación y revisión exhaustiva y precisa de este trabajo.

A mis revisores: Ing. Genaro Serrano Coronel, Ing. Rolando Céspedes Paredes, por su valioso aporte, sugerencias y correcciones realizadas en el texto.

A la Ing. M.Sc. Teresa Ruiz Díaz por su constante orientación y guía en mi formación y en especial para la culminación del presente trabajo.

Mi mas profundo agradecimiento a mis hermanas: Rozmira, Susana, Sonia y Eliza por todo el apoyo incondicional y espiritual.

A una gran amiga y esposa, Rozmery y a mis hijos Victoria y Alexander por todo el apoyo material y espiritual brindado y la paciencia por todo el tiempo restado a su atención.

En fin, a todos los que de una forma u otra me han ayudado, GRACIAS.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto diseñar, construir y evaluar el comportamiento hidráulico del aspersor artesanal, para una distribución óptima del riego en la región de valle de Sorata. Esta región está caracterizado por ser húmedo es la época lluviosa (diciembre a marzo) y una época seca en invierno, con una precipitación promedio de 934.9 mm/año. En la época lluviosa mayor a 100 mm/mes y en la época seca 37.18 mm/mes. Por tanto, en la época seca requiere un aporte de agua adicional en forma de lluvia, para lo cual se adecua muy bien el uso del aspersor artesanal.

Las comunidades del municipio Sorata, cuenta con abundantes recursos hídricos, provenientes del deshielo del nevado Illampu y otros nevados, las cuales tiene una distribución irregular por las características topográficas de la zona. Varias comunidades del municipio cuentan con sistemas de micro riego (solo la red principal) implementados por las instituciones no gubernamentales que trabajan en la región.

El diseño y la construcción del aspersor artesanal es un esquema de manufactura intensiva en mano de obra, donde la producción es de baja escala con producto heterogéneo durable, las técnicas de construcción están diferenciadas según cada constructor, con un acabado exclusivo y de gran versatilidad para el riego agrícola.

El aspersor artesanal para un riego con un solo aspersor requiere una presión superior a 0.25 bar. El aspersor ha mostrado un mejor comportamiento con una presión de trabajo de de 0.5 bar, con 1 mm de diámetro de los emisores, un gasto de caudal de 600 l/h, con un coeficiente de uniformidad promedio de 83.5 % y una uniformidad de distribución de riego de 76.9%, el aspersor artesanal tiene un radio de riego entre 5 a 7 m, la cual está en función a la presión de trabajo y el diámetro de los emisores, su caudal de gasto es directamente proporcional a la variación del diámetro de los emisores y la presión de trabajo.

Según el riego en marco cuadrado de 5 x 5 m, con 0.5 bar de presión de trabajo y 1 mm del diámetro del emisor, ha alcanzado un coeficiente de uniformidad promedio de 83.7% y 77.1 % de coeficiente de distribución, en donde estos valores están dentro de los parámetro aceptables para los sistemas de riego por aspersión. El tamaño de los aspersores no condiciona mejor uniformidad de distribución de agua, lo que condiciona es la presión de trabajo, el distanciamiento y diámetro de los emisores.

El aspersor artesanal construido con material PVC E-40, ha mostrado un comportamiento aceptable para el riego, las falencias en su diseño y construcción tiene una influencia directa a la uniformidad de riego.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Uno de los fenómenos más importantes vividos en los últimos años, es la falta de toma de conciencia del valor de las riquezas naturales, especialmente el recurso agua. Con fines de riego, el agua es uno de los recursos limitantes en sistemas de producción agropecuaria en nuestro país.

En el año 2000 el área regable en Bolivia alcanza aproximadamente 225.564 ha, que constituye aproximadamente el 10% del total de las áreas cultivadas, de las cuales el municipio de Larecaja reporta una superficie regable con 2.844 ha (MAGDR, 2000).

Los agricultores han buscado desde siempre, el medio de aportar agua necesaria para el desarrollo de las plantas, cuando las lluvias son insuficientes con el caso de la región de los valles interandinos. Para suministrar agua a los cultivos día a día con el método de riego por inundación resulta laborioso, porque exige mano de obra importante para llevar agua sobre el terreno. Resulta así que todos los sistemas de riego conocidos permiten aportar un volumen de agua llamada “dosis de riego” a intervalos de tiempo, que se determinan en función de la naturaleza del suelo, de manera que las plantas no tengan déficit de agua (Lionel, 1986).

El riego por aspersión, es un método cuyo principio de funcionamiento es la presión y a través del uso de tuberías y aspersores comerciales o artesanales, mejoran el uso y la eficiencia del agua en la agricultura.

### **1.1 Antecedentes**

Los equipos de riego por aspersión no mecanizados, son aquellos cuyo desplazamiento se realiza manualmente y reparten dosis de agua sobre las parcelas, en función a las características topográficas y tamaño de las parcelas de cultivo. Sin embargo, conviene precisar que los métodos de riego más modernos introducen un nuevo concepto del riego que hace posible actualmente, con equipos muy perfeccionados, alimentar de agua a las plantas en función a sus necesidades,

eventualmente día a día sin que se realice necesariamente de forma continua, aunque esto presenta ciertas dificultades (Lionel, 1986).

En la actualidad existen numerosos modelos de aspersores con rendimientos que varía entre 0.10 y 3 m<sup>3</sup>/h, asegurando un riego horario de 1.5 - 0.8 mm. Su alcance oscila entre 6 y 36 m.

## **1.2 Justificación**

En estos últimos años por el crecimiento de la población, ampliación de los campos de cultivo y reducción de la cantidad de agua para riego por inundación, la tendencia es la optimización del recurso agua para la producción agrícola.

El logro de mejores resultados de intervención en proyectos de riego solamente es posible si se cuenta con conocimientos y herramientas aptas y adecuadas a nuestra realidad, los cuales se consiguen a través de la investigación, pero, caracterizada por ser aplicada. Lo que significa que, la investigación responda a problemas concretos que se identifican en nuestras regiones (PRONAR, 2004).

La región de valles, donde se practica una agricultura con riego tradicional, que le ha permitido incursionar a la economía de mercado, por razones de precio de los productos y productividad, precisa de riego para mejorar el uso de los suelos y mano de obra, para lograr mayores rendimientos que posibiliten incrementar áreas por cultivo; como cultivos permanentes (PRONAR, 1999).

En la región del valle de Sorata durante los últimos años se han realizado la construcción de varios sistemas de micro riego por las diferentes Instituciones que trabajan en la región, captando agua de riego de los ríos, vertientes y conduciendo hasta las comunidades, con la finalidad de mejorar la producción de los diferentes cultivos en cada una de las comunidades beneficiadas.

Actualmente las comunidades que cuentan con sistemas de micro riego la actividad de riego en las parcelas de producción lo realizan por inundación, sin embargo, con el método de riego por aspersión incorporando con aspersor artesanal se mejorará la eficiencia del uso de agua para el riego en la región del Valle.

### **1.3 Planteamiento del problema**

En las comunidades que cuentan con sistema de micro riego, la actividad de riego lo realizan por inundación, este Método provoca la erosión del suelo, lavado de nutrientes, pérdidas por infiltración.

Las familias que utilizan el riego por aspersión con aspersores comerciales de cañón, no se adecuan a las parcelas de los agricultores de la región, por su gran alcance y son para superficies extensas. Mientras la construcción de aspersores artesanales tiene un costo muy bajo con respecto al aspersor comercial y se adecuan perfectamente a las parcelas de los agricultores de la región de los valles interandinos de Bolivia.

Con la construcción del aspersor artesanal se pretende mejorar el riego y adecuar a las características fisiográficas de los valles, la gran gama de aspersores comerciales tienen una caracterización técnica e hidráulica, mientras que el aspersor artesanal carece de datos técnicos, con el presente trabajo dirigido se logró caracterizar y dar especificaciones técnicas al aspersor artesanal, de esta forma se dará al agricultor una alternativa de construir su propio aspersor que se adecue a las características topográficas de sus parcelas y optimizar el agua para el riego de sus cultivos en la región.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar el cálculo hidráulico del aspersor artesanal para la optimización del sistema de micro riego, adaptado a los valles interandinos del departamento de La Paz.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el diseño y construcción del aspersor artesanal adecuado para los valles interandinos.
- Determinar las características técnicas del aspersor artesanal para diferentes presiones de trabajo en el micro riego.
- Evaluar la uniformidad de aplicación de agua para diferentes condiciones de presión.

## **1.5 Metas**

- Se ha diseñado y construido el aspersor artesanal adecuado con material PVC para mejorar el riego de los cultivos hortícolas, para la región de valle de Sorata departamento La Paz.
- Se ha logrado caracterizar las especificaciones técnicas del aspersor artesanal para diferentes presiones de trabajo en el riego.
- Se ha determinado la mejor uniformidad de aplicación de agua en diferentes condiciones de presión.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Diseño hidráulico

En el diseño y la construcción de las obras de riego, hay que lograr que las exigencias en cuanto al mantenimiento de las obras estén al alcance de los usuarios. Obras complejas que requieren cuidados especiales o que tienen componentes frágiles cuyos repuestos son caros o no se encuentran en el mercado, no sirven en el contexto del riego andino /campesino. Aquí se expone el análisis del flujo forzado de las tuberías. Esto es, cuando el agua fluye bajo una presión diferente a la atmosfera, a diferencia de los conductos libres que funcionan por gravedad como los canales y deben ser calculados como tal (Bottega y Hoogendam, 2004).

Según Tarjuelo, (1999), el diseño hidráulico es la relación que existe entre el caudal que descarga del emisor y la presión existente a la entrada de mismo, ajustándose a la siguiente ecuación:

$$q = K * H^x$$

El exponente x varía entre 0 y 1, tomando el valor x=1 para flujo laminar y x=0 en emisores autocompensante, lo que implicaría q=K.

Cuadro 1. Valores normales de x en diferentes tipos de emisores son:

<b>Tipos de emisores</b>	<b>Valor de exponente “x”</b>
<b>Emisores de largo recorrido</b>	0.6 a 1
<b>Emisores tipo orificio y tobera (aspersores)</b>	≈ 0.5
<b>Emisores autocompensante</b>	0.5 a 0

## 2.2 Métodos de riego

Según Serrano, (2001), a la fecha se han desarrollado diversos métodos de riego con el objetivo de adaptarse a determinadas condiciones: edafoclimáticas, topografía, fuente de agua, cultivo, economía, disposición de mano de obra, y otros aspectos. Muchos de estos métodos se han perfeccionado buscando mejores eficiencias en la distribución y aplicación del agua a nivel parcelario, sin embargo, debemos indicar que la eficiencia tiene estricta dependencia con la capacidad de manejo y operación que le puede dar el regante.

De acuerdo al régimen de circulación del agua, el método de riego presurizado puede agruparse en las siguientes modalidades:

### 2.2.1 Riego Presurizado

 Aspersión

 Goteo

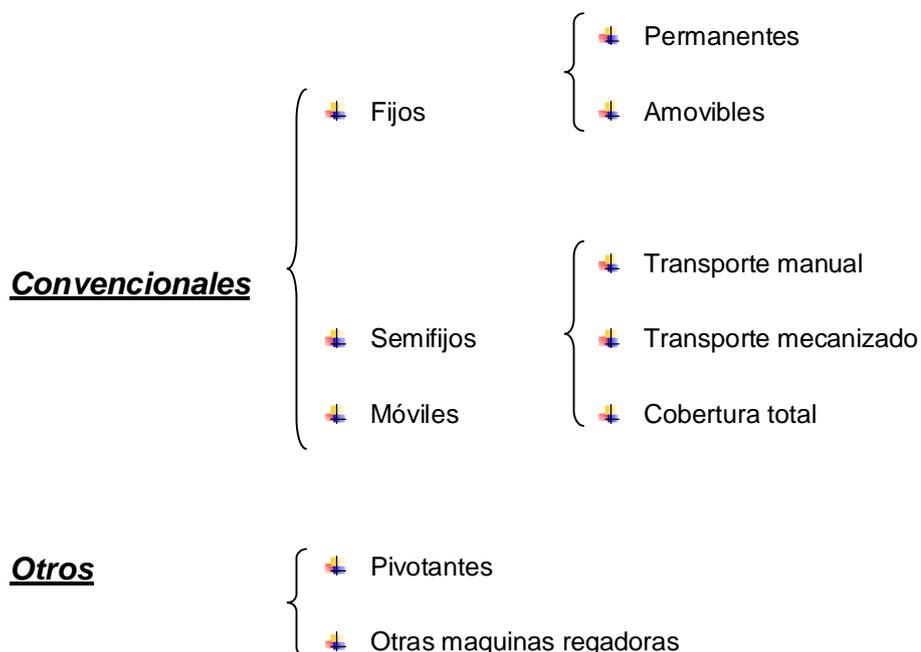
 Microaspersión

 Microjeet

El método de riego presurizado requiere de ciertas condiciones básicas para su funcionamiento, desde una fuente de abastecimiento (para evitar en bombeo), a partir del cuál se realiza la conducción de agua mediante tuberías o canales hasta una red de distribución de tuberías que deberán garantizar la presión necesaria para en funcionamiento de los aspersores.

La irrigación por aspersión se constituye en uno de los métodos mas utilizados, debido a su versatilidad de manejo, adaptación a diversos cultivos y topografías de terreno. En su mecanismo de funcionamiento y formas de instalación también son variados, desde los convencionales hasta los sistemas mecanizados con funcionamiento automático.

*Clasificación de los sistemas de riego por aspersión en función de su movilidad:*



En el riego por aspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor de los diferentes modelos de aspersores.

La técnica del riego debe ser tal que asegure el mejor equilibrio fisiológico. Para su elección hay que tener en cuenta las exigencias hídricas de la especie, no sólo en cuanto al clima y al terreno, sino también en cuanto a las características de la parte

radical, de la densidad de plantación y de la forma de desarrollo de la planta (Gispert, 1994).

## **2.3 Sistemas de riego**

Los sistemas de riego son aquellas técnicas de riego que vamos a utilizar para proporcionar la medida exacta de agua a nuestras plantas (Sánchez, 2005).

Los pequeños sistemas de agua de uso múltiple están incorporando cambios en el uso de los suelos de manera diferente a los usos tradicionales, el sistema de producción bajo riego por aspersión, no requiere necesariamente la presencia de los usuarios durante las prácticas de riego, haciendo esta actividad menos riesgosa para la salud de las plantas (Masal, 2007).

El riego por aspersión se adapta a condiciones de trabajo diversas, en relación con suelos, clima, cultivos, mano de obra, tecnología y recursos económicos disponibles. El sistema de riego por aspersión según su movilidad pueden ser: fijos, semifijos y móviles (Losada, 2005).

### **2.3.1 Riego por aspersión**

El riego por aspersión es la lluvia artificial que se produce al pulverizarse el agua que descarga desde conductos a presión. El agua es asperjada a la atmósfera exterior a través de emisores que pueden consistir en boquillas de desagüe dispuestas en un mecanismo aspersor que constituye el último elemento del sistema de distribución. Conviene que la distribución del agua sobre la superficie del suelo sea uniforme y que no deriven daños estructurales a causa del impacto de las gotas o por encharcamiento. Cada gota de agua debe infiltrarse en el punto del suelo sobre el que cae, por lo que no debe dar lugar a escorrentía ni mucho menos a erosión (Losada, 2005).

Según Hoogendam (2007), el objetivo es desarrollar y transferir tecnologías para optimizar la distribución y manejo del agua con miras a la producción de cultivos de las cadenas agroproductivas estratégicas de los Valles, la sostenibilidad de los sistemas de riego mejorados y alcanzar una posición productiva competitiva futura.

El riego por aspersión en un sistema que trata de imitar las gotas de lluvia. Así podemos tener lluvia artificial cada vez que necesitemos regar (Prado, 2004).

En suelos de textura fina, con baja velocidad de infiltración, se debe tener cuidado de seleccionar el tamaño del aspersor, presión de operación y espaciamiento para aplicar el agua uniformemente (Wagner et al., 1985).

### **2.3.1.1 Aspersores**

Según, Prado (2004), existen diferentes tipos de aspersores según la presión de trabajo así tenemos: aspersores de muy baja presión (de botellas Pet descartable y tubo PVC), aspersores de baja presión (trabajan a partir de 5 a 15 metros de altura), aspersores de mediana presión y aspersores de alta presión (10 a 30 metros de altura, su caudal varía de 0.12 a 0.3 l/s el radio de cobertura del aspersor es de 10 a 12 m).

Según, Proyecto Agua (1997), el aspersor es el mecanismo que esparce el agua desde la tubería. Se utilizan comúnmente en agricultura diversos tipos de aspersores rotativos. La rotación se produce alrededor de un eje vertical, gracias al impacto que les imprime el choque periódico de un brazo móvil, accionado a su vez por el chorro. Suelen tener una o dos boquillas, cuyos ejes forman con la horizontal un ángulo que ha de adaptarse al porte de los cultivos. Para el funcionamiento de un aspersor destacan el gasto, o caudal de descarga, y su distribución sobre el suelo. El gasto depende de las características geométricas de las boquillas y de su presión de trabajo.

Otros aspersores, también de rotación, son accionados por engranajes movidos por dispositivos hidráulicos especiales. También deben mencionarse los aspersores cuya rotación relativamente rápida, producida por el impulso del chorro, resulta del par debido a la reacción por un cambio de dirección del agua, antes de su salida (Losada, 2005).

Entre los principales aparatos de distribución están los aspersores rotatorios, dentro los cuales se encuentra diferentes modelos, pero básicamente están contruidos por una tobera simple o doble, provista de boquillas calibradas; la rotación del aparato está accionada por un brazo situado en el chorro principal, que al ser impactado por el agua es separado momentáneamente para retornar a su posición anterior mediante un resorte (Serrano, 2011).

### **2.3.1.2 Emisores**

En sistemas de riego tecnificado existen varios tipos de emisores: goteros, microaspersores, microjets y aspersores. Su funcionamiento depende de las presiones de trabajo y del buen funcionamiento de las redes de tuberías (Hoogendam, 2007).

Según el Proyecto agua (1997), la corriente de agua sólo está condicionada por un sistema físico proyectado conforme a especificaciones puramente hidromecánicas hasta que se produce su salida por las boquillas. Ahora bien, durante el recorrido del agua desde la boquilla hasta la superficie del suelo, las condiciones ambientales afectan a la aspersion del agua, y ésta queda fuera de control del regante.

De acuerdo a la velocidad media en el área de cultivo, intensidad de precipitación requerida y limitaciones de presión, se puede seleccionar la mejor combinación de espaciamiento, presión de operación, tamaño de boquillas y que presente mayor grado de uniformidad posible (Serrano, 2011).

Según, Tarjuelo (1999), los emisores pueden ser tuberías perforadas, pulverizadoras, cañones, difusores fijos o toberas y aspersores. La intensidad y uniformidad de lluvia

que proporciona el aspersor depende de: el tipo de emisor, su espaciado en la tubería, la presión en las boquillas y el tamaño de estas. De todos ellos, los más utilizados son los aspersores, que llevan una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento.

En general, los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse en varias clasificaciones en base a distintos aspectos:

*a) Según la velocidad de giro*

- ✚ De giro rápido (> 6 rpm, se usa en jardinería, horticultura, viveros, etc.).
- ✚ De giro lento (0.25 – 2 rpm, de uso general en agricultura).
- ✚ Para una misma presión, los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.

*b) Según el mecanismo de giro*

- ✚ De reacción: la inclinación del orificio de salida origina el giro.
- ✚ De turbina: el chorro incide sobre una turbina que origina el giro.
- ✚ De choque: el chorro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente. Mediante un mecanismo especial pueden moverse solo en un sector circular en lugar de abarcar el círculo completo (aspersor sectorial).

*c) Según presión de trabajo*

La presión del agua en la entrada del aspersor se denomina presión de trabajo o servicio ( $h_N$ ), condiciona de forma significativa la precipitación producida por el

emisor sobre el terreno, en función a esa presión de funcionamiento los aspersores se clasifican en:

#### **✚ *Aspersores de baja presión***

- ✚ Presión de servicio ( $h_N$ ) < a 20 m.c.a. (< a  $\text{Kgf/cm}^2$ ), son de baja rotación. Generalmente una sola boquilla de diámetro < a 4 mm.
- ✚ Los caudales no superan  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- ✚ Espaciamiento entre aspersores ( $E_s$ ) < 15 m.
- ✚ Son adecuados para trabajo en marco rectangular o cuadrado, con separación entre aspersores del orden de 12 m, o en triangulo, con separación entre aspersores de menos de 15 m.
- ✚ Los aspersores de baja presión tiene una buena uniformidad de riego incluso con velocidades de viento elevados ( $> 4 \text{ m/s}$ ).

#### **✚ *Aspersores de media presión***

- ✚ Presión de servicio ( $h_N$ ) entre 20 a 40 m.c.a. (2-4  $\text{Kgf/cm}^2$ ), de rotación lenta.
- ✚ Generalmente dos boquillas entre 4 – 7 mm.
- ✚ El caudal varia entre 1 a  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- ✚ Espaciamiento entre aspersores que van desde  $12 * 12 \text{ m}$  hasta  $24 * 24 \text{ m}$ .

#### **✚ *Aspersores de alta presión***

- ✚ Presión de servicio ( $h_N$ ) > a 40 m.c.a. (< a 4  $\text{Kgf/cm}^2$ ), de rotación lenta. Generalmente dos boquillas de diámetro entre 4 – 7 mm.
- ✚ El caudal supera los  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- ✚ Espaciamiento entre aspersores (Es) > 30 m.
- ✚ Suelen dar baja uniformidad de distribución al ser fácilmente afectados por el viento. Asimismo, el gran tamaño de gota y la gran altura de caída puede dañar al cultivo.

### 2.3.1.3 Aplicación del agua de riego por aspersión

El proceso de aplicación del agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se dispersa en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores (Tarjuelo, 1999).

*Como efectos derivados de esta aplicación están:*

- ✚ La relación entre la velocidad de aplicación (pluviosidad del sistema) y la capacidad de infiltración de agua, produciéndose escorrentía si la pluviosidad del sistema supera a la capacidad de infiltración.
- ✚ El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas de agua si éstas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, formación de costra y erosión del suelo.
- ✚ La uniformidad de distribución en superficie y su dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección.
- ✚ La redistribución dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico a distancias entre 1 y 3 m, que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo.

El proceso de aplicación del agua en riego por aspersión depende entonces de un conjunto de factores que pueden agruparse de la siguiente manera:

- ✚ El modelo de reparto del aspersor: viene condicionado por el diseño de aspersor, el número y tipo de boquillas y la presión de trabajo.

- ✚ El marco de riego, por tanto en lo que se refiere a la forma (en rectángulo, triángulo y cuadrado) como en el espaciamiento entre aspersores.
- ✚ El viento, tanto en intensidad como en dirección. Este es el principal distorsionador de la uniformidad de reparto y juega un papel fundamental en las pérdidas por evapotranspiración y arrastre producidas durante el proceso de aplicación, donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída son factores fundamentales.

Junto a estos factores existen otros factores que tienen menor influencia en el reparto de agua, como son: la duración de riego, la utilización de vaina prolongadora de chorro, altura de aspersor, el ángulo de descarga del chorro, la alternancia de riegos diurnos y nocturnos, el cambio de posicionamiento de los aspersores. La mayor duración de un riego favorece a la uniformidad de aplicación, por compensarse en parte las distorsiones producidas por el viento al variar éste a lo largo del tiempo.

#### **2.3.1.4 Caracterización del reparto de agua**

Para la determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) y de otros parámetros que caracterizan el reparto de agua en superficie, se necesita conocer la pluviosidad recogida en una red de pluviómetros bajo el área de riego del aspersor artesanal.

La mayor parte de los riegos por aspersión agrícolas requieren un valor mínimo de  $CU = 80\%$  para considerarlos aceptables. Valores bajos de coeficiente de uniformidad son indicadores normalmente de una incorrecta combinación del número y tamaño de boquillas, presión de trabajo y marco de riego.

Los procedimientos para determinar el reparto de agua de los aspersores pueden agruparse en tres tipos:

- ✚ Colocar la red de pluviómetros en el campo en un marco de riego.
- ✚ Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo aspersor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego.
- ✚ Reducir la red de pluviómetros a una fila según un radio del círculo mojado y determinar un modelo radial, en ausencia de viento y con alta humedad relativa.

## **2.4 Adaptabilidad del método**

El control de riego sólo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdida por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad de reparto). La uniformidad de aplicación es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

En cuanto a los aspectos topográficos, el riego por aspersión exige poca o ninguna nivelación previa, incluso en el caso de pendientes pronunciadas e irregulares. Cabe conservar así la fertilidad natural del suelo, lo que puede tener interés especial cuando, a profundidad escasa, existen horizontes inapropiados para el desarrollo de los cultivos. Relacionado también con la configuración de las tierras está el hecho de que la superficie del campo de riego no precisa ningún tipo de sistematización, lo que permite una buena mecanización.

### **2.4.1 Principales ventajas del riego por aspersión**

- ✚ Puesto que la dosis de riego únicamente es función del tiempo de cada postura, puede adaptarse tanto a dosis grandes como dosis pequeñas.
- ✚ Al poder modificar fácilmente la pluviosidad, es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 300 mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.

- ✚ No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad del suelo.
- ✚ En el interior de las parcelas no necesita, en general, ningún tipo de sistematización, lo que permite una buena mecanización.
- ✚ Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro.
- ✚ Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante en la posibilidad de ahorrar agua.
- ✚ Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra, a costa normalmente de una mayor inversión.
- ✚ En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamiento fitosanitarios, así como la lucha antihelada.
- ✚ Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil, a la vez que es más cómodo y de más fácil manejo que el riego por superficie.
- ✚ Es el método mas eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y, por tanto, mas en contacto con la solución del suelo.
- ✚ Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión.

#### **2.4.2 Principales inconvenientes del riego por aspersión**

- ✚ El posible efecto de la aspersión sobre plagas y enfermedades.
- ✚ Interferencia sobre los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuado para evitar estas interferencias.

- ✚ Pueden originar problemas de salinidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o impurezas en la misma.
- ✚ Mala uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos.
- ✚ Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costes de mantenimiento y funcionamiento (energía).

## **2.5 Disponibilidad de agua**

Aunque Bolivia cuenta con abundantes recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, su distribución espacial y la enorme variación altitudinal e hidrológica micro-regional tienen un marcado efecto en el aprovechamiento y gestión eficiente del agua, debido a que su utilización está limitada por la dificultad de derivar aguas para explotación agrícola en zonas donde la concentración poblacional, desarrollo de mercados y presencia de infraestructura básica de apoyo lo justifican (PRONAR, 2000).

La región de los valles tienen mayores limitaciones de disponibilidad de agua para riego por las siguientes características: escasa disponibilidad de agua, con más de siete meses de sequía, precipitación anual entre 300-750 mm, concentrada en pocos meses y evapotranspiración potencial variable entre 650-1650 mm, que provoca un déficit hídrico de 333 a 900 mm anuales.

El Municipio de Sorata cuenta con abundantes recursos hídricos, provenientes del deshielo del Nevado Illampu y otros nevados, las cuales tienen una distribución irregular por las características topográficas de la zona, el agua es apto para el riego de los diferentes cultivos de la región (PDM-Sorata, 2004).

Para obtener el agua de riego es necesario disponer de las instalaciones necesarias que comprenden el pozo, la bomba extractora, los tubos de conducción de agua y el pivote de aspersión; además de la energía necesaria para impulsar el motor eléctrico (PRONAR, 2004).

## **2.6 Variables climáticas**

El viento está entre las variables climáticas que condicionan las características de la lluvia y las gotas de agua, la distorsión del chorro es evidente a simple vista, y esta falta de control sobre la distribución regular y uniforme del agua afecta al crecimiento del cultivo (Losada, 2005).

## **2.7 Aspersor artesanal**

El régimen de producción artesanal es un esquema de manufacturas intensivas en mano de obra, donde la producción de baja escala productiva crea un producto heterogéneo durable, el artesano es una mano de obra altamente capacitada pues hace íntegramente el producto, por sofisticado que fuera y las técnicas de producción están diferenciadas según cada trabajador (artesano).

El aspersor artesanal es un producto construido manualmente, con acabado exclusivo y de gran versatilidad para el riego agrícola.

El aspersor artesanal sirve para generar una lluvia artificial, que favorece al desarrollo de los diferentes cultivos y se adecua para riego de diferentes cultivos hortícolas. El riego mediante un aspersor comercial o artesanal evita la erosión del suelo y la pérdida de agua.

El material PVC (Tubo PVC), para la construcción de un aspersor artesanal se consigue fácilmente. Pueden ser adquiridos en ferias, ferreterías o se construye con material sobrante de instalaciones sanitarias.

## 2.8 Diseño Geométrico

La geometría es la parte de la matemática que estudia las propiedades de las figuras y de los cuerpos, prescindiendo de su tamaño, de su posición y de la materia que los constituye; estudia también la medida de las superficies y de los volúmenes. En efecto: desde los comienzos de la civilización, los objetos que rodearon al hombre, los hechos que acompañaron su vida, fueron formando con él, el concepto de rectas y de curvas; de figuras planas y de cuerpos; de formas y de volúmenes diferentes. Así como la aritmética se basa en elementos fundamentales que son los números, de los cuales se estudian propiedades y a los que se les aplican operaciones que transforman unos números en otros, así también la Geometría se basa en ciertos objetos fundamentales, que son: el punto, la recta y el plano (Repetto et al., 1974).

## 2.9 Eficiencia de los sistemas de riego

La eficiencia total del sistema de riego es la relación entre el volumen de agua utilizado por los cultivos (evapotranspiración) y el volumen de agua suministrado desde la fuente. Tiene cuatro componentes principales, como expresa la siguiente relación:

$$E_{total} = E_{captación} * E_{conducción} * E_{distribución} * E_{aplicación}$$

La “eficiencia de captación” se considera en sistemas de riego que realizan captaciones en los cursos de agua de los ríos, en tanto que para embalses o presas, se tendrá que utilizar la “eficiencia de almacenamiento”, sin embargo, este último es

usado como eficiencia de captación para fines de incorporar a la planilla del Área Bajo Riego Óptimo “ABRO” (Serrano, 2011).

La eficiencia de captación corresponde a la relación que existe entre el caudal demandado por la parcela de riego y el caudal captado o derivado en el curso del río, presa o embalse.

La eficiencia de conducción corresponde a la relación que existe entre el caudal que llega al punto de entrega al sistema de distribución y el caudal captado en la fuente de agua del sistema (río, embalse o reservorio). Esta eficiencia depende de varios factores: longitud de los canales, amplitud del área regable, características del canal, tipo del revestimiento, grado de mantenimiento y modalidad de operación del sistema. También depende del tipo de flujo: continuo o intermitente.

La eficiencia de conducción es el componente más susceptible a ser mejorado mediante el revestimiento con hormigón, pero no siempre se logra superar el 90%; generalmente varía entre 75 y 90%. En condiciones sin mejoramiento (sistema rústico) las eficiencias suelen reportar valores entre 45 a 60%, siendo muy variable de un sistema de riego a otro.

La eficiencia de distribución se refiere a la relación que existe entre el caudal que llega a las parcelas y el que fue entregado al sistema de distribución en sus respectivas tomas (de distribución o reparación) según las tradiciones de cada zona de riego. Esta eficiencia depende del tipo de canales, dimensiones, longitud, tamaño de las unidades de riego y del manejo de agua a nivel predial del sistema. De acuerdo con experiencias en proyectos de riego mejorados (canales abiertos), con parcelas mayores a 10 hectáreas y riego intermitente, la eficiencia puede alcanzar valores entre 75 a 80%.

La eficiencia de aplicación, es la relación existente entre la cantidad real de agua almacenada en la zona radicular directamente disponible para el cultivo y la cantidad total de agua aplicada al terreno, en el interior de la parcela, finca o unidad de riego.

Como termino medio, en la mayoría de los métodos de riego superficiales, la eficiencia de aplicación no rebasa el 60%.

Toda el agua aplicada en exceso con respecto a las necesidades reales de los cultivos se considera una pérdida para los fines de cálculo. Esta eficiencia depende de varios factores, como el tipo de suelo (textura, estructura, profundidad), tipo de cultivo (ciclo fenológico, profundidad radicular, especie), método de riego empleado (inundación, surcos, melgas y aspersión).

Cuadro 2. *Eficiencias de aplicación de agua de riego en porcentajes*

Tipo de suelo	Métodos de Riego		
	Melgas	Surcos	Inundación
Arenoso	50 - 60	40 - 50	40 - 50
Franco o medio	65 - 70	55 - 65	50 - 60
Arcilloso o fino	55 - 65	55 - 65	45 - 55

Fuente: Rocha, 1993 citado por Serrano, G., 2011

Para cultivos de valor medio o alto suele recomendarse que el 90 % del área quede bien regada mientras para cultivos de menor valor y los forrajeros se suele recomendar el 80 % o menos como área adecuadamente regada (Tarjuelo, 1999).

Cuadro 3. *Intervalo de CU y UD para varios sistemas de aspersión*

<b>Tipo</b>	<b>UD – ED<sub>90</sub></b>	<b>CU – ED<sub>80</sub></b>
<b>Ramales móviles</b>	60 a 80 %	70 a 86 %
<b>Ramales fijos</b>	60 a 85 %	70 a 88 %
<b>Laterales autodesplazables</b>	65 a 90 %	75 a 94 %
<b>Cañones de riego</b>	50 a 60 %	60 a 75 %

Fuente: Tarjuelo et al., 1999.

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

Cuadro 4. *Calificación de la uniformidad de riego en sistemas de riego por aspersión*

<b>Valor de la Uniformidad de Distribución (%)</b>	<b>Calificación</b>
<b>Mayores de 85 %</b>	Excelente
<b>De 80 a 85 %</b>	Buena
<b>De 75 a 80 %</b>	Aceptable
<b>Menor de 75 %</b>	Inaceptable

Fuente: Servicios de asesoramiento al regante- Junta de Andalucía.

### **III. SECCIÓN DIAGNOSTICA**

Un aspecto de importancia al enjuiciar cualquier método de riego es su adaptabilidad a las condiciones agrícolas en que va a ser empleado, especialmente suelos y cultivos.

Las ventajas del método de riego por aspersión se relacionan con el hecho de que la uniformidad de aplicación es independiente de las características del suelo, mientras que solo los condicionantes atmosféricos escapan al control que el técnico puede ejercer sobre el riego.

Entre los factores prácticos que describen el funcionamiento de un aspersor, se destacan el gasto de descarga y el carácter de la lluvia. Uno y otro dependen de las características geométricas de las boquillas y de su presión de trabajo

#### **3.1 Materiales y métodos**

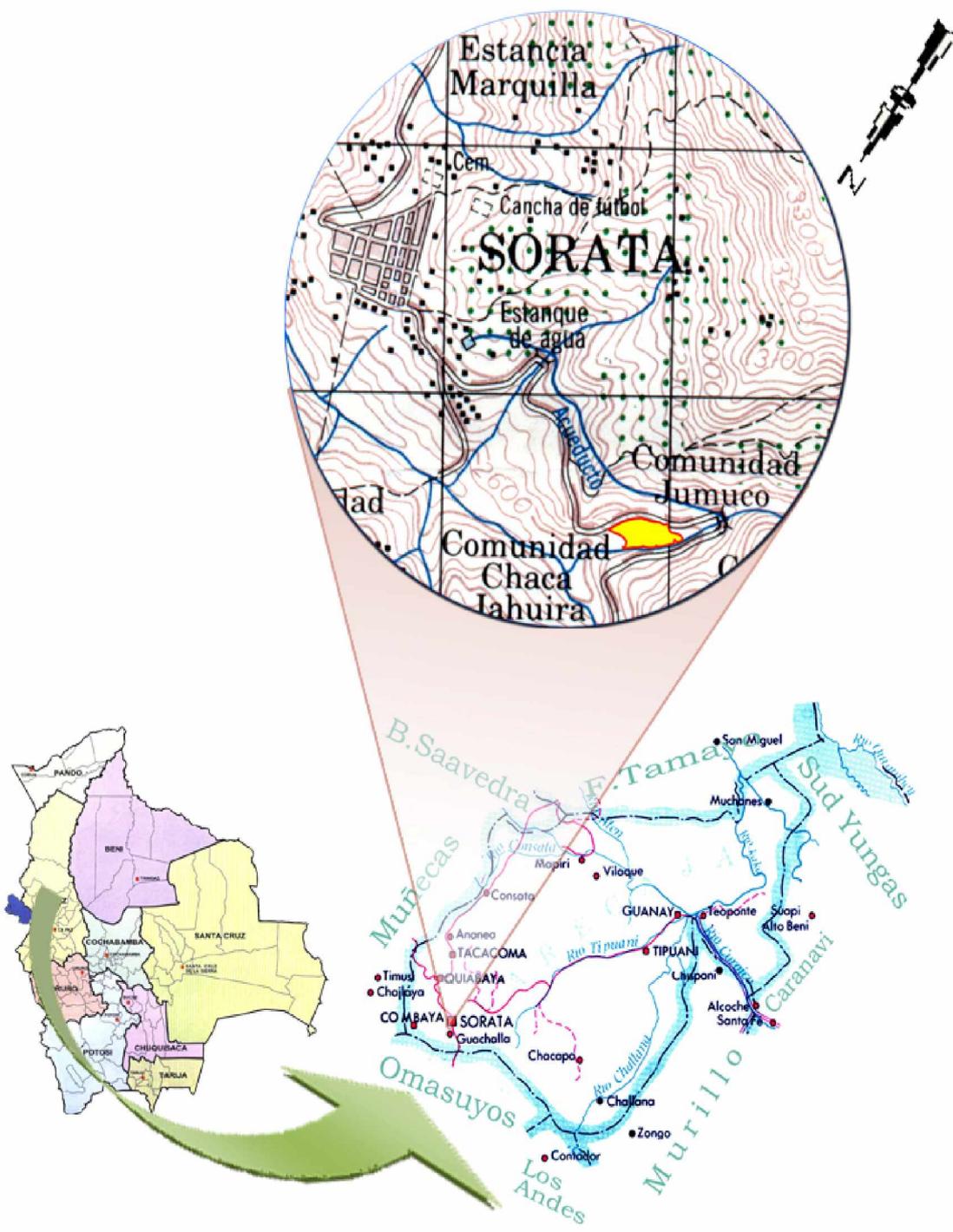
##### **3.1.1. Localización y ubicación geográfica**

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad Jumuco perteneciente al cantón Sorata, Municipio Sorata del departamento de La Paz, ubicado a 2827msnm y a 5 kilómetros de la sede del gobierno municipal de Sorata.

La primera sección de la provincia Larecaja, está situado en el área central del departamento de La Paz, entre la cordillera real y la región de los yungas. La capital de la sección se sitúa aproximadamente a 147 Km de la sede de gobierno por un camino carretero asfaltado hasta cantón Ilabaya de Sorata y ripiado desde allí hasta Sorata.

El municipio de Sorata se sitúa en el paralelo 15° 46'24.1" latitud Sur y 68° 39'01.1" longitud Oeste a una altitud de 2720 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



### 3.1.1.1 Limites territoriales

Limita al sur con la provincia Omasuyos – Achacachi; al oeste, con la provincia Muñecas y el municipio Combaya; al Este, con el municipio de Guanay y Tipuani; y al Norte con los Municipios Quiabaya y Tacacoma (PDM-Sorata, 2004).

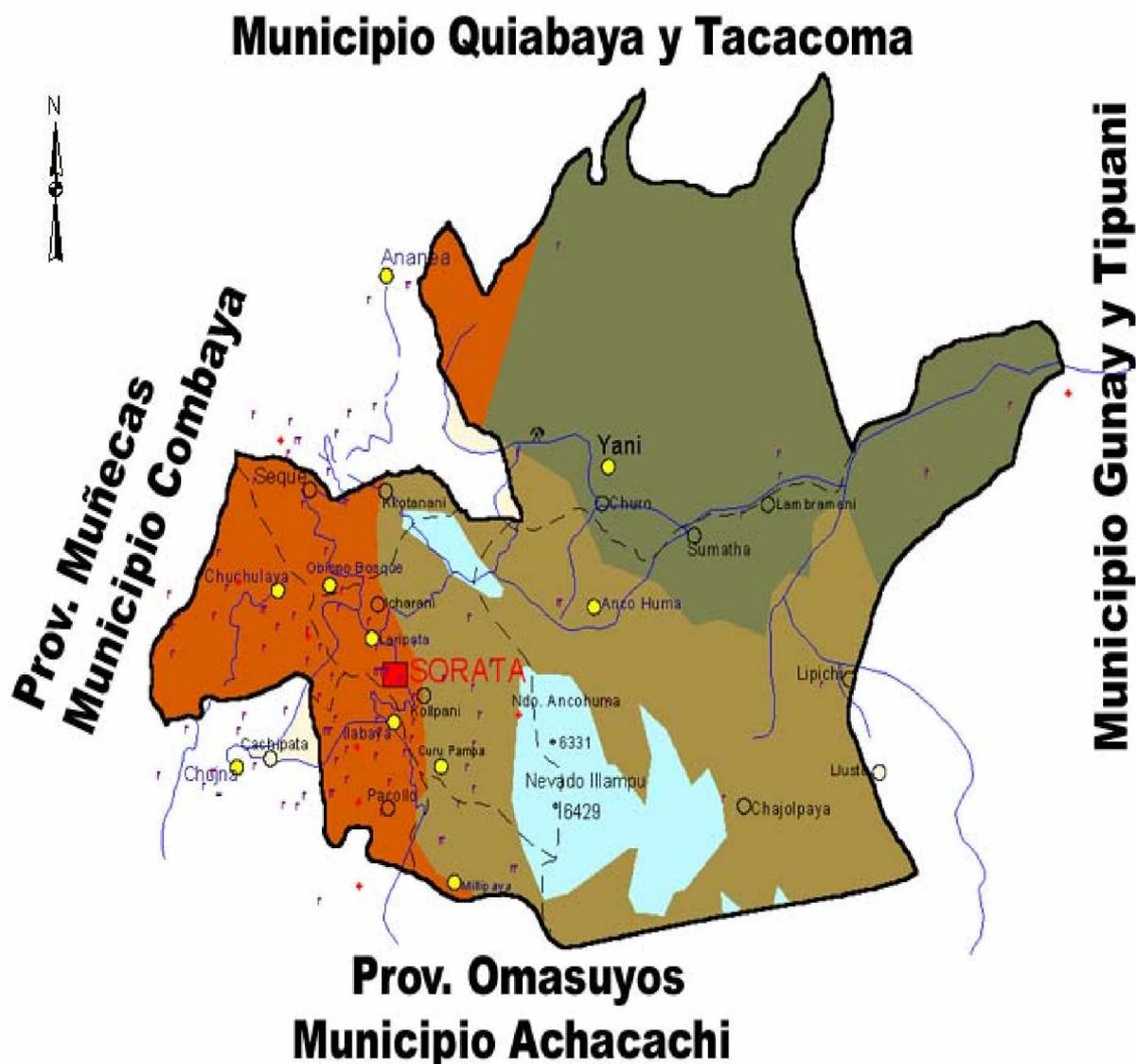


Figura 2. Límites territoriales del Municipio Sorata

### **3.1.2 Características del lugar**

#### **3.1.2.1 Población**

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda del INE realizado el Año 2001, el municipio de Sorata cuenta con 19.204 habitantes, con una tasa de crecimiento de 1.92% anual. La densidad poblacional promedio es de 9.6 Hab/km<sup>2</sup>.

#### **3.1.2.2. Topografía**

La topografía predominante en todo el municipio es accidentada con altitudes que van desde más de 6.000 m de altitud hasta los 2.000 m de altitud, con un promedio de 3100 m de altitud. Posee infinidad de quebradas y cañadones originados de la cordillera oriental de Los Andes y que a su vez generan profundos valles que atraviesan todo el municipio. La conformación es de rocas sedimentarias, pizarras y areniscas fundamentalmente lo que da origen a suelos medianamente pedregosos.

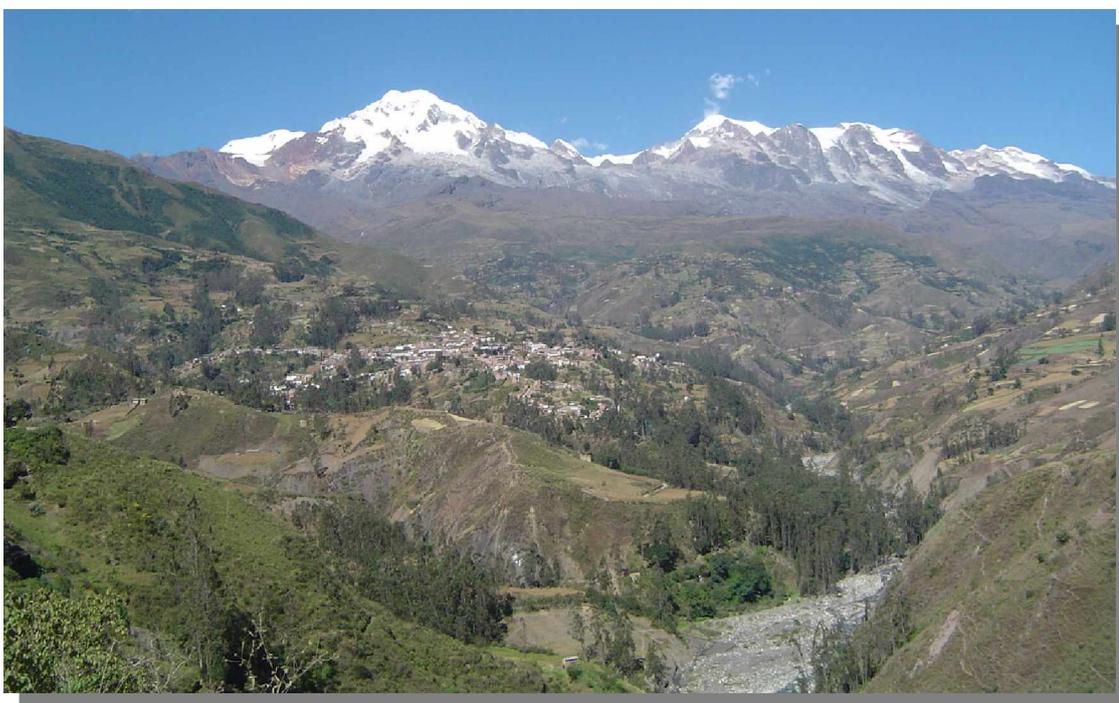


Figura 3. Vista panorámica del municipio de Sorata

### **3.1.2.3 Clima**

El valle de Sorata esta situado al sur de lago Titicaca, a 100 Km de distancia al nor-este de La Paz, donde se observa el majestuoso Illampu, segunda montaña más alta de Bolivia con 6429 metros de altura. Según Montes de Oca (1989), la región corresponde a la zona de vida como bosque seco montano bajo subtropical (Bs-MBST).

El clima predominante en la región de estudio esta caracterizado por ser húmedo en la época lluviosa y seca en invierno, con una precipitación de 500 a 1000 mm/año y biotemperaturas de 12 a 18 °C con presencia de escarcha, sequias y temperaturas críticas en los meses de invierno.

### **3.1.2.4 Tipo de suelo**

Geológicamente el sector se halla conformado por los siguientes periodos; Silúrico – Devónico y Terciario éste último con fuerte intrusión magmática que da origen a roca madre granítica.

La textura física del área varía de franco arcillosa a arcillosa. Las características químicas del suelo son favorables en los horizontes superficiales y desfavorables en los horizontes subyacentes. El pH predominante es de 7.5 aproximadamente, con un contenido de materia orgánica del 2%, por lo que los suelos son aptos para el cultivo (Ibáñez et al., 2004).

### **3.1.2.5 Recursos Hídricos**

El Municipio cuenta con abundantes recursos hídricos, provenientes del deshielo del Nevado Illampu y otros nevados, las cuales tienen una distribución irregular por las características topográficas de la zona.

Las principales fuentes de agua para las comunidades las constituyen los ríos, arroyos y vertientes; que en su mayoría tienen una disponibilidad permanente (Ibáñez et al., 2004).

En la comunidad Jumuco donde se realizó el trabajo de investigación la fuente de agua es de río (Collpapampacuchu) y vertiente las dos fuentes son permanentes. Esta comunidad también cuenta con un sistema de micro riego que consta de matriz y estanque de almacenamiento 70 m<sup>3</sup> de agua para riego de los cultivos de la zona.



Figura 4. Fuentes de agua Municipio Sorata

### **3.1.2.6 Superficie de tierras bajo riego y a secano**

Sólo 2,547 de un total de 12,000 hectáreas cultivables del Municipio cuentan con riego; lo que representa sólo el 21% de las tierras bajo riego. La superficie de tierra que cultiva cada familia es aproximadamente de 2.3 hectáreas, distribuidas en diferentes lugares y a diferentes altitudes (PDM-Sorata, 2004).

### **3.1.2.7 Fauna y Flora**

Por la variedad de pisos ecológicos imperantes en la zona, existen una amplia gama de variedad de especies animales silvestres y domésticos, muchas de ellas están en peligro de extinción como el venado andino (*hippocamelos antisensis*), gato monté (*files concolor*), jochi (*Agonti* sp) y otros animales son considerados como enemigos y/o plagas del hombre como ser: loros, zorros, perdices, chihuancus, conejos silvestres, viscachas y son cazadas para consumo humano.

Al igual que la fauna, en esta región existen una amplia gama de variedades de especies vegetales desde pastos, arbustos, plantas siempre verde, plantas implantadas y plantas cultivadas en donde predominan las gramíneas, tubérculos andinos, especies herbáceas, huertas y tierras de barbecho.

Combelles (2000), mediante un diagnostico identifico 90 especies vegetales aparentemente 35 familias y 70 especies cultivadas y 42 familias por determinarse.

## 3.2 Materiales

### 3.2.1 Materiales para la construcción de aspersor artesanal

#### Para un aspersor

- Tubo PVC de 1", 25 cm
- Tubo PVC de ¾", 30 cm
- Tubo PVC de ½", 75 cm
- Tee de ½"
- Reductor de 1" a ¾"
- Pegamento PVC 10 ml
- Tapones de ½", (dos unidades).
- Teflón (2 m lineales de 10 mm de ancho).



Figura 5. Materiales de construcción

### 3.2.2 Herramientas para la construcción de aspersor artesanal

- Calibrador (Vernier).
- Cierre metálica
- Estilete grande
- Lija metálica
- Marcador de agua rojo
- Mini taladro y sus respectivas brocas de 1 y 1.5 mm
- Tarraja de 1" y ½"
- Una cinta métrica



Figura 6. Herramientas para construcción



- Estacas e hilo plástico
- Filtro para agua de 1"
- Manguera flexible de 2 cm de diámetro y 3 m Una cinta métrica
- Medidor para agua de ¾"
- pH y Moisture Meter (Mide la humedad al nivel de la raíz, evita el riego excesivo o insuficiente).
- Probeta de 500, 200 y 100 ml.
- Un anemómetro (altura de 2 a 2.5 m).
- Una veleta.
- Una vincha de 10 metros.
- Thermo&hygrometer digital (medidor de humedad del suelo disponible para las plantas).



Figura 8b. Equipos e instrumentos de medición

### 3.3 Metodología

La metodología aplicada en el estudio de investigación fue participativa, en donde se realizó la construcción y diseño geométrico del aspersor artesanal para la optimización del sistema de micro riego en las comunidades del Municipio Sorata.

La metodología del trabajo dirigido comprende las siguientes etapas:

### **3.3.1 Primera etapa**

La primera etapa se caracterizó por la recolección de información disponible y necesaria para el desarrollo del presente trabajo. Se identificó la comunidad Jumuco que pertenece al Cantón Sorata del Municipio Sorata, la cual cuenta con un sistema de micro riego implementado en las gestión 2003 a 2005, el uso del agua en esta comunidad se basa en función a usos y costumbres ancestrales (antes de la implementación del micro riego), turnos establecidos. Para el cumplimiento de los turnos el responsable es el comité de riego de la misma comunidad, en caso de incumplimiento tienen sanciones de acuerdo a las normas internas de la comunidad.

### **3.3.2 Segunda etapa**

En la segunda etapa se ha realizado, el diseño del aspersor artesanal a mano alzada, luego se realizó el diseño geométrico con la ayuda de los programas graficadores y posteriormente se realizó la construcción física del aspersor artesanal a continuación se presenta los tres etapas para la construcción del aspersor artesanal.

#### **3.3.2.1 Diseño geométrico del aspersor artesanal**

Primeramente el diseño del aspersor artesanal se ha realizado manualmente en una hoja de papel sábana, con los diámetros de tubos PVC E-40 correspondiente a cada parte, como se puede apreciar en la siguiente figura.

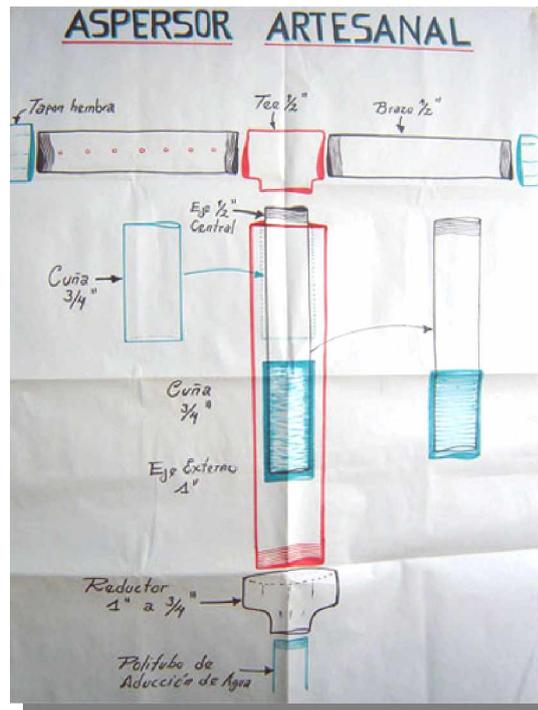


Figura 9. Diseño geométrico del aspersor artesanal

Luego el diseño geométrico de aspersor Artesanal se ha realizado con la ayuda de software (programas) "ARCONT 6.5" "Autocad" y Photoshop", en las siguientes figuras se muestra el proceso del diseño de aspersor artesanal, que luego será plasmado en material PVC E-40.

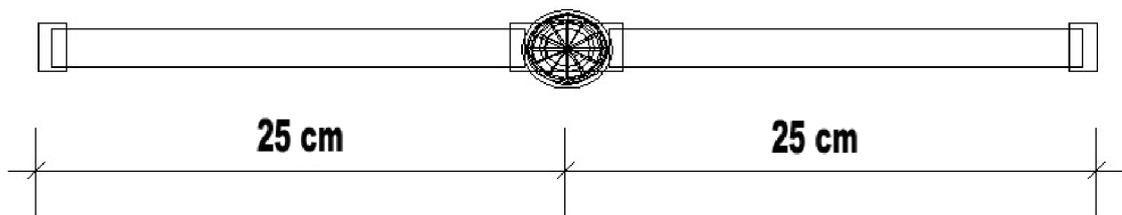


Figura 10. *Diseño de planta del aspersor*

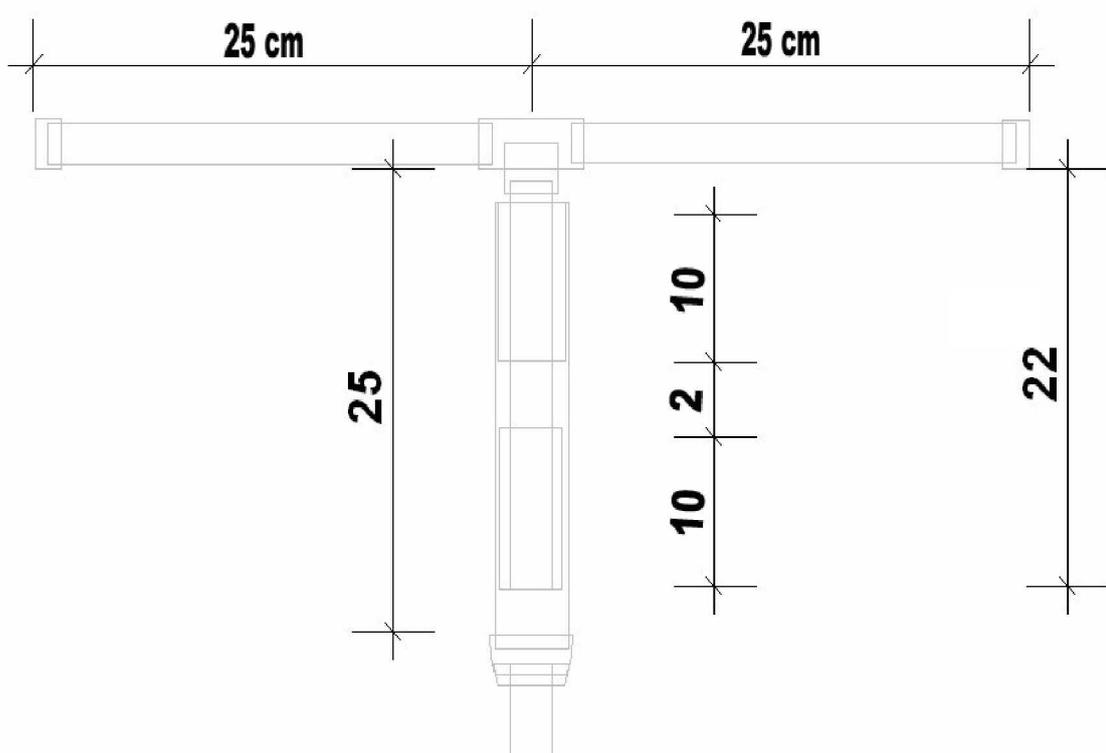


Figura 11. *Diseño de elevación del aspersor*

### 3.3.2.2 *Diseño del aspersor artesanal en perspectivas*

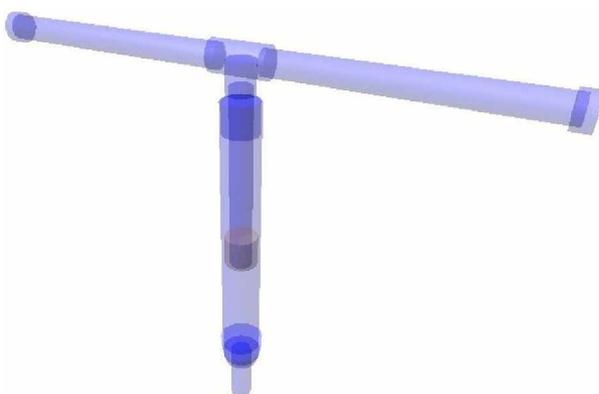


Figura 12a. *Aspersor artesanal en perspectiva 1*

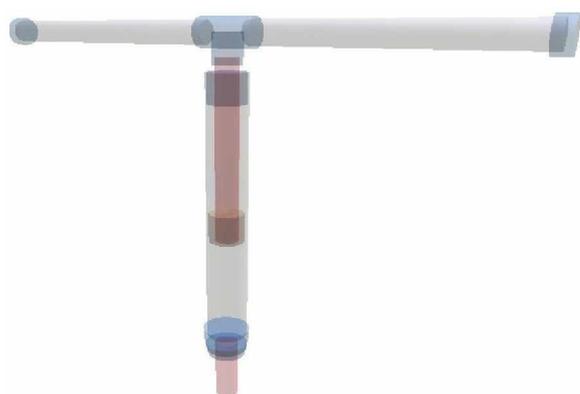


Figura 12b. *Aspersor artesanal en perspectiva 2*



*Figura 12c. Diseño del aspersor en perspectiva concluido*

### 3.3.2.3 Proceso de construcción del aspersor artesanal

La construcción del aspersor artesanal es un esquema de manufactura intensiva en mano de obra, para su construcción requiere tubos PVC E-40 y accesorios. A continuación se detallan los pasos para su construcción:

#### **PASO 1.**

Cortar 25 cm de tubo PVC de 1" exactamente.



Tarrajar el tubo PVC de 1", solo un extremo con la ayuda de la tarraja de 1".

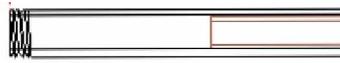


#### **PASO 2.**

Cortar 20 cm de tubo PVC de 3/4".



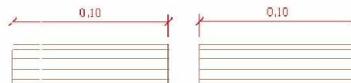
Para conseguir que el tubo PVC de  $\frac{3}{4}$ " entre libremente al interior del tubo PVC de 1", se procede al raspado del tubo de  $\frac{3}{4}$ " con la ayuda de un estilete.



Para lijar las asperezas se procede al lijado, probando constantemente que entre al interior del tubo PVC de 1" ojo no debe quedar muy suelto ni muy ajustado. Es decir el tubo de  $\frac{3}{4}$ " en el interior del tubo de 1" debe moverse libremente sin ninguna fricción.

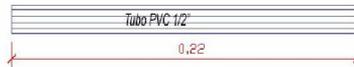


Cortar el tubo PVC lijado de  $\frac{3}{4}$ " en don partes de 10 cm cada una (el corte debe ser uniforme y liso para evitar la fuga de agua).

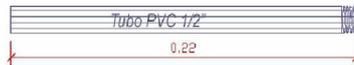


### PASO 3.

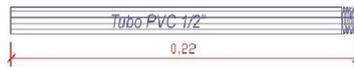
Cortar 22 ó 25 cm de tubo PVC de ½”.



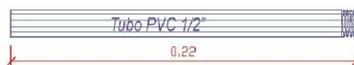
Tarrajar el tubo PVC de ½” en un solo extremo con la ayuda de una tarraja de ½” que posteriormente se unirá con el Tee de ½”.



Luego se procede al raspado uniforme del tubo PVC de ½”, hasta lograr que entre libremente al interior del tubo PVC de ¾”. De igual forma debe moverse libremente sin fricción alguna.



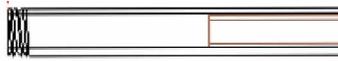
Finalmente se procede al lijado uniforme, con la finalidad de eliminar asperezas.



#### **PASO 4.**

Una vez que los tubos entren exactamente al interior, uno dentro de otro, se procede al pegado con el pegamento PVC de la siguiente manera:

El tubo PVC de 10 cm de  $\frac{3}{4}$ " se aplica el pegamento en la parte externa y luego se introduce en el interior del tubo PVC de 1" hasta el tope del mismo.



La otra mitad del tubo PVC de  $\frac{3}{4}$ " de 10 cm, el pegamento se coloca en la parte interna y se une con un tubo de  $\frac{1}{2}$ ", es decir lado no tarrajado.



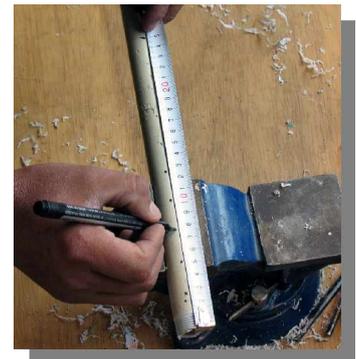
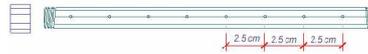
#### **PASO 5.**

Finalmente dejar secar durante 24 horas, luego proceder al armado del aspersor artesanal.

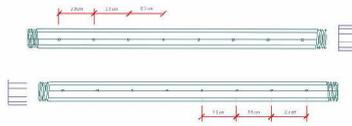
Cortar dos tubos PVC de  $\frac{1}{2}$ " de 25 cm el cual será el brazo del aspersor. Luego tarrajear ambos lados.



Con la ayuda de un marcador se divide el tubo PVC de 25 cm en 9 y 11 partes iguales.



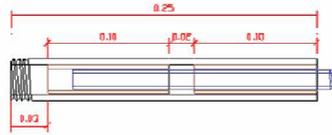
Finalmente con ayuda de un taladro y con brocas 1 y 1.5 mm de diámetro se realizan las perforaciones en los lugares donde se realizó las marcas, las cuales serán los emisores del aspersor artesanal.



## **PASO 6.**

Una vez completado con el proceso de elaboración artesanal de las partes del aspersor, se procede al armado del mismo, para lo cual seguiremos los siguientes pasos:

Introducir el tubo PVC de  $\frac{1}{2}$ " (que está pegado en su interior con el tubo PVC de  $\frac{3}{4}$ " dentro del tubo PVC de 1" (que a su vez está pegada en su interior con el tubo de  $\frac{3}{4}$ ").



Por ultimo se enroscan los tubos PVC laterales de  $\frac{1}{2}$ " con el tee de  $\frac{1}{2}$ " y el reductor hembra PVC de 1" a  $\frac{3}{4}$ " o 1" a  $\frac{1}{2}$ ", con el tubo PVC de 1" hasta ajustar fuertemente como se muestra en la siguiente figura.





Figura 14. El producto final del proceso de construcción del aspersor artesanal

En la construcción del aspersor artesanal se empleó material PVC de diferentes medidas, en longitud y diámetro. La construcción se realizó con un diseño geométrico con la variación en el diámetro de los emisores (1 y 1.5 mm) y la separación de emisores (20 a 25 mm), esta variación fue con la finalidad de determinar el diámetro con una mejor uniformidad de distribución de agua sobre las parcelas de cultivo.

### 3.3.3 Tercera etapa

Según, Serrano (2011), la evaluación de riego por aspersión es un proceso mediante el cual se puede saber si la instalación y el manejo que se hace de ella reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riegos adecuadamente, esto es, cubriendo las necesidades del cultivo para la obtención de máximas producciones, minimizando al mismo tiempo las pérdidas de agua.

Las evaluaciones se realizan en las condiciones normales de funcionamiento, de forma que lo observado coincida con la situación usual durante la aplicación de los riegos. En una evaluación de riego por aspersión es necesario:

- ✚ Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el mantenimiento es adecuado.
- ✚ Determinar los caudales reales aplicados por los aspersores a la presión de trabajo y la lámina de agua aplicada al campo por unidad de tiempo.
- ✚ Determinar la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación del agua de riego.
- ✚ Detectar y analizar los problemas de funcionamiento del aspersor artesanal y de la instalación y plantear soluciones sencillas y económicas.
- ✚ Analizar los criterios seguidos por el usuario del riego para decidir la lámina de agua a aplicar.

La evaluación del comportamiento del aspersor artesanal permite conocer la cantidad de agua que aplica el sistema por unidad de tiempo y su uniformidad, lo que es necesario para decidir el tiempo de riego y su respectiva validación de aspersor artesanal en cuanto se refiere a la presión de trabajo, caudal, uniformidad de riego.

### **3.3.4 Cuarta etapa**

Se realizó el trabajo en gabinete para la realización de los respectivos cálculos hidráulicos y la redacción del documento final.

### **3.4. Evaluación de los Componentes de la Instalación**

Se realizó una inspección de todos los componentes del sistema, desde la toma de agua, tuberías, juntas, caudal, presión de trabajo, medidor para agua, filtro para agua y el aspersor artesanal construido.

En primer lugar se comprobó que los aspersores son idénticos, como el tamaño de los aleros, tamaño de las boquillas, el distanciamiento entre emisores (boquillas) y la altura del pivote para garantizar el desarrollo de los riegos.

Se verificó que no existan fugas de agua en todo el sistema instalado, para evaluar el comportamiento hidráulico del aspersor artesanal en cada pivote se instaló un manómetro de aguja en baño de glicerina en los cuatro puntos de salida para ver la presión de trabajo de cada uno de los aspersores del sistema y ver la distribución óptima de agua de riego sobre la parcelas de irrigación.

Se determinó el marco de riego, es decir espaciamiento de los aspersores dentro el ramal y entre ramales (marco cuadrado 5x5 m), se colocó una red de 16 pluviómetros con una separación de 1.25 metros como se muestra en el siguiente gráfica.

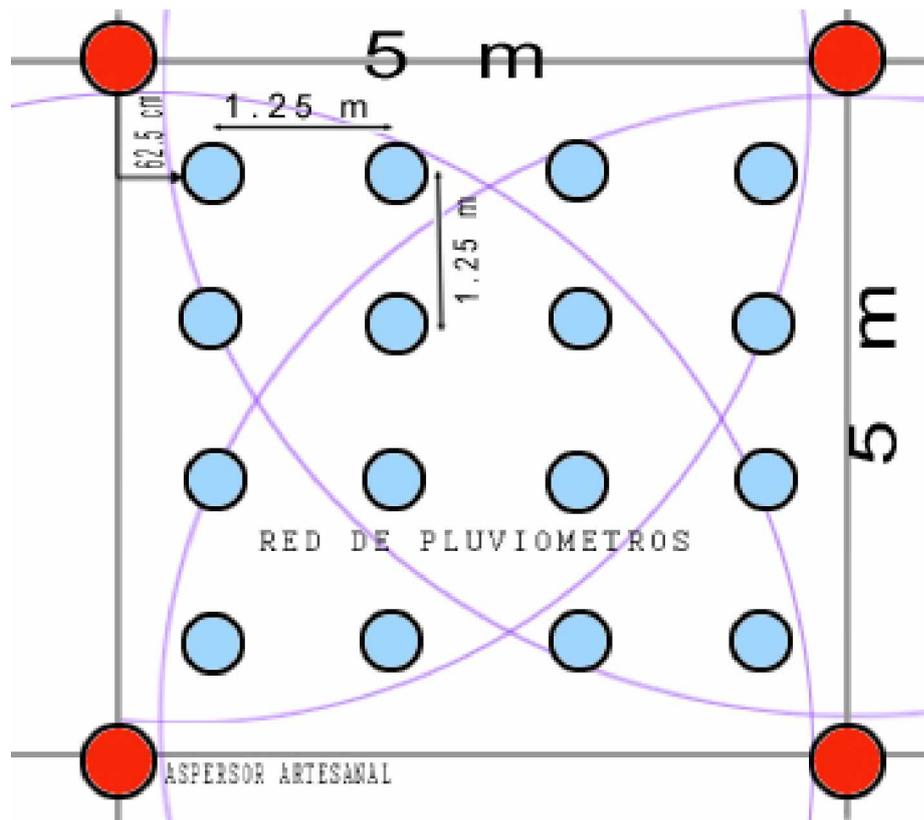


Figura 15. *Instalación del sistema para la evaluación (%CU).*

Una vez que entra en funcionamiento el método o técnica de riego por aspersión con la utilización de aspersores artesanales se tomaron los datos en una planilla de evaluación (ver anexo 2).

### 3.5 Parámetros de evaluación que caracterizan la distribución del agua

La terminología usada para describir el comportamiento del aspersor artesanal en riego a nivel parcela incluyen los términos de eficiencia y uniformidad, no existiendo ningún parámetro que por sí sólo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez.

A partir de los datos de pluviometría medidos durante los ensayos se calcularon la Uniformidad de distribución (UD) y el coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU). Definidos como:

### 3.5.1 Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU)

El Coeficiente de uniformidad fue desarrollado por Christiansen (1942) se expresa en % y es usado para estudiar la lluvia aplicada una vez completado un riego.

Es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de riego por aspersión; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado. En los sistemas de riego por aspersión estacionario se recomiendan valores de CU mayores al 80% (aunque depende de la velocidad del viento (Tarjuelo, 1999).

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**Donde:**

$x_i$  = Volumen de agua recogida por cada pluviómetro, expresado en ml.

$\bar{x}$  = Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetro, expresado en ml.

$n$  = Número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación

### 3.5.2. Coeficiente de distribución (UD)

Este término fue introducido por Merriam y Keller (1978), y se define como:

$$UD_{(\%)} = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25\% de área menos regada}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**Donde:**

$UD_{(\%)}$  = Uniformidad de distribución expresado en porcentaje.

Así para los cultivos de valor medio o alto se tiende a que la altura media de agua aplicada (dosis neta), que en un riego correcto debe ser igual al “déficit permisible de manejo (DPM)”, coincida con la media del 25% del área menos regada. De ésta forma, solo el 12.5 % del área estará infrarregada.

Para los cultivos de menor valor económico, así como los forrajes, la dosis neta se suele hacer coincidir con la media del 50% del área menos regada, en cuyo caso el 25 % del área quedará infrarregada (Tarjuelo, 1999).

### 3.5.3 Eficiencia de descarga (ED)

Indica la relación porcentual entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores. La diferencia entre ambas con las perdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de riego, debido fundamentalmente a las condiciones climáticas (temperatura, humedad, viento, etc.). También hay que incluir a estas diferencias los errores propios que conllevan la metodología seguida.

$$Ed_{(\%)} = 100 * \frac{\text{Pluviometría media recogida}}{\text{Pluviometría media aplicada}}$$

Pluviometría media recogida (Hm), es la altura media recogida por unidad de tiempo, en mm/hora.

$$Hm = \frac{Pm}{t} * 60$$

**Donde:**

Pm= precipitación media, en ml.

t = tiempo de duración del ensayo, en minutos.

$$Pm = \frac{v}{s} * 1000$$

**Donde:**

Pm = Precipitación media es la altura media recogida en el ensayo, en mm

V = Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetro, en ml

S = Superficie del pluviómetro, en mm<sup>2</sup>

Pluviometría media aplicada (QR): altura media aplicada por unidad de tiempo, en mm/h.

$$qr = \frac{q}{(S1) * (Sm)} * 1000$$

**Donde:**

$q$  = caudal aforado en el aspersor de ensayo, en  $m^3/h$

$S_1$  = separación entre línea de aspersores (ramales), en m.

$S_m$  = separación entre aspersores dentro de un ramal, en m.

### **3.5.4 Caudal emitido por los emisores**

Para el caudal emitido, la carga  $h$  induce el desagüe del emisor correspondiente, se obtiene de la siguiente relación:

$$q = K * H^x$$

En la práctica se acepta que  $k$  y  $x = l/m$  son constantes que caracterizan el desagüe por el emisor.

**Donde:**

$q$  = Caudal, en  $m^3/s$

$K$  = Coeficiente de descarga característico del emisor (representa el caudal bajo carga unitaria).

$H$  = Altura de presión hidráulica a la entrada del emisor (m.c.a.).

$x$  = Exponente de descarga del emisor, que depende del tipo de flujo que se establezca en el mismo y de su grado de autocompensación. ( $x=0.5$ )

#### **IV. SECCIÓN PROPOSITIVA**

El trabajo dirigido se llevo a cabo con plena normalidad según el cronograma establecido en el perfil aprobado de trabajo dirigido.

El trabajo dirigido titulado “comportamiento hidráulico del aspensor artesanal para la distribución óptima del riego en regiones de valle” se realizo con la participación de los actores de la comunidad Jumuco, que pertenece al cantón Sorata del Municipio Sorata.

##### **4.1 Aspectos propositivos del Trabajo Dirigido**

Los resultados obtenidos, según el planteamiento de trabajo dirigido fueron satisfactorios, en donde el aspensor artesanal demostró un comportamiento satisfactorio para los pobladores de la región de Sorata con un coeficiente de uniformidad promedio de 83.7 %.

La presión de trabajo mínimo requerido es de 0.25 bar y la distribución de las gotas de agua esta en función al diámetro de las boquillas del alero del aspensor, el diámetro 1 mm es optimo para el riego de las hortalizas en almacigo y para el momento de trasplante porque las gotas de agua simulan una llovizna (gotas muy finas) y las de diámetros mayores a 1.5 mm son aptos para los cultivos de hortalizas ya establecidos (a partir de la fase fenológica de crecimiento).

En la región de Sorata los terrenos aptos para el cultivo de hortalizas esta muy parcelado, a este parcelamiento de tierras de cultivo, el aspensor artesanal se adecua muy bien, porque su diámetro de riego de 10 a 14 metros la cual esta en función al diámetro de las boquillas y la presión de trabajo del aspensor artesanal.

La precipitación promedio en la región de Sorata es de 934.9 mm/año, si bien es importante pero la distribución aleatoria y concentrada en cinco meses, restringe su potencial de uso agrícola. En los meses diciembre a marzo se presentan precipitaciones mayores a 100 mm/mes y 37.18 mm/mes durante los meses de abril

a noviembre, para lograr buenos rendimientos de producción en hortalizas en los meses de menor precipitación, se requiere un aporte de agua adicional en forma de lluvia, para lo cual se adecua muy bien el uso del aspersor artesanal para la distribución óptima del riego en la región de valle de Sorata.

La mayoría de las tierras de cultivo se encuentran en aéreas de pendientes fuertes a moderados, sujetos a procesos de remoción en masa y vulnerables a la erosión. La Superintendencia Agraria clasificó los suelos del municipio y la provincia Larecaja como muy degradados. La baja fertilidad de los suelos y la baja precipitación durante los meses abril a noviembre es el principal problema para su manejo y uso. Los agricultores no conocen prácticas adecuadas para aumentar su productividad y realizar un aprovechamiento sostenible, al no existir el Plan de uso de Suelos.

Las comunidades de la región de Sorata cuentan con sistemas de micro riego implementados por diferentes instituciones que trabajan en la región como ser: CECASEM, QBL, CARITAS CORICO, MISION ALIANZA NORUEGA y otros, la mayoría de estas constituciones han construido solo la red principal con tuberías PVC de diferentes diámetros y clases.

Actualmente las comunidades que cuentan con sistemas de micro riego, el riego de las parcelas de cultivo siguen realizando por inundación, lo que provoca el lavado de nutrientes del suelo, y la erosión de suelo, algunas familias de esta región el riego de sus parcelas de cultivo lo realizan con aspersores comerciales de cañón que requiere una presión de servicio de 20 mca (2 bar) y los diámetros de las boquillas son de 4 – 7 mm y tiene un alcance de 12 a 24 metros de riego. El aspersor comercial no se adecua a las características del terreno (muy parcelado).

Mientras que el aspersor artesanal para su funcionamiento requiere de 0.25 bar como mínimo y los diámetros de los emisores de los aleros del aspersor son fácilmente ajustables a las características del área de cultivo y el estado fenológico de las plantas en desarrollo.

En la región de valle de Sorata los turnos de riego se realizan en función a usos y costumbres ancestrales, para el cumplimiento de los turnos en cada una de las comunidades existe un comité de riego, en caso de alterar y incumplir los turnos de riego, las sanciones están en función al reglamento interno y costumbres de cada comunidad.

Con respecto a la dinámica poblacional el municipio presenta dos formas de migraciones: temporales y definitivas. Las familias adoptan, como una estrategia de sobrevivencia de las familias campesinas, con el objetivo de incrementar sus ingresos al margen de los que obtienen por la agropecuaria u otra actividad. Así mismo, se han identificado dos formas de flujos migratorios en externos a las ciudades (La Paz, Santa Cruz y la región de los yungas de La Paz), e internos a las zonas mineras (Lijuata, Yani y Ancoma). El flujo de emigración, trae como consigo la fuga de capital humano, fuerza de trabajo y la fuga de líderes con mano de obra calificada.

La falta de acceso a la tierra y/o minifundio, se constituye en un factor limitante, ya que las familias por el crecimiento demográfico, solo acceden a pequeñas parcelas (parvifundio) y en surcos (surcufundio) y finalmente están emergiendo las familias jóvenes sin tierra.

Superficie de tierras bajo riego y a secano, sólo 2,543 de un total 12,682 hectáreas cultivables del municipio cuentan con riegos; lo que representa sólo el 20% de las tierras bajo riego, de ahí, que los productores se ven en la necesidad de regar solo los cultivos más rentables y no así el resto de los cultivos tradicionales. El 79 % de la producción agrícola es destinada al autoconsumo y los excedentes de los cultivos son destinados para la venta y los diferentes cantones tienen diferentes potencialidades de producción

La contaminación del medio ambiente en la región de Sorata se da por la contaminación hídrica de los ríos de Yani, Ancoma, Lijuata y Laripata, donde utilizan de manera indiscriminada los reactivos químicos para el lavado de oro y otros

minerales y la eliminación de desechos sólidos de los centros mineros; así como la contaminación de las aguas del río San Cristóbal por la falta de manejo de residuos (basuras).

El problema principal que limita el desarrollo agropecuario es la falta de agua. A la fecha no existe una infraestructura adecuada para fines de aprovecharla enorme potencialidad de los recursos hídricos del municipio. Con el presente trabajo dirigido se pretende optimizar la distribución del agua de riego sobre los cultivos mediante el uso del aspersor artesanal.

Con la implementación de aspersor artesanal para el riego de los cultivos, las familias no requieren inversiones altas, como para la adquisición de equipos de riego comercial (aspersores comerciales de alto costo), el aspersor artesanal como su nombre indica artesanal son construcciones que los pueden realizar cada uno de los agricultores y adecuarlas a las características propias de sus parcelas de producción. Los mismos agricultores lo pueden construir y adecuarlas a las características propias de sus parcelas en producción.

#### **4.2 Análisis de resultados**

Para el presente trabajo dirigido se ha identificado una comunidad (Jumuco), que cuenta con un sistema de micro riego implementado en la gestión 2005, en donde se ha evaluado el comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución óptima del riego sobre las parcelas.

El agua en el sistema de riego por aspersión es un flujo forzado y fluye bajo una presión diferente a la atmósfera y la evaluación se debe realizar como tal (Bottega y Hoogendam (2004)

#### 4.2.1 diseño y construcción del aspersor artesanal

El diseño del aspersor artesanal es un esquema de construcción intensiva en mano de obra y en lo posible homogéneo aunque este es imposible cuando se trata de un producto artesanal. En este diseño las variables son el distanciamiento entre los emisores y los diámetros de los orificios de los emisores como se detalla en el cuadro 5.

<b>Nº</b>	<b>LONGITUD DEL ALERO (cm)</b>	<b>DISTANCIA ENTRE EMISORES (cm)</b>	<b>DIÁMETRO DEL EMISOR (mm)</b>
<b>1</b>	25	2.5	1
<b>2</b>	25	2.5	1.5
<b>3</b>	25	2	1
<b>4</b>	25	2	1.5

Cuadro 5. Medidas variables en el diseño del aspersor artesanal

El diseño del aspersor artesanal se ha realizado en gabinete con la ayuda del programa Arcont 6.5, Autocad y Photoshop para que el diseño sea geométrico

La primera construcción del aspersor artesanal fue en gabinete, en donde también se han realizado varias pruebas con la finalidad de ver su funcionamiento. Una vez logrado la construcción y su funcionamiento, se ha realizado la transferencia de todo el proceso de construcción del aspersor artesanal a la comunidad, en donde se ha realizado la construcción del aspersor artesanal con la participación de los líderes de la comunidad, como se puede observar en la figura 16.



Figura 16. Construcción del aspersor artesanal

El tiempo requerido para la construcción de 2 aspersores artesanales es de ocho horas, mientras que las familias construyen un aspersor en dos días, sin embargo con la práctica y la habilidad se llega a construir hasta tres aspersores artesanales en 8 horas (Jornal de trabajo).

Una vez concluido con la construcción del aspersor artesanal se han realizado varias pruebas con la finalidad de ver las posibles fallas y sus respectivas correcciones prácticas, como se observa en la figura 17.



Figura 17. Realización de pruebas del aspersor artesanal en campo

Una vez concluido con las pruebas y correcciones respectivas en el comportamiento hidráulico del aspersor artesanal, para la distribución óptima del riego se ha construido varias réplicas del aspersor, con la variación en el diámetro de los emisores de 1 y 1.5 mm distanciamiento entre emisores de 2 a 2.5 cm y longitud de los aleros fue de 25 cm respectivamente como se muestra en la siguiente figura 18.



Figura 18. Aspersion artesanal y sus respectivos aleros

El aspersion artesanal a diferencia de los aspersores comerciales es versátil para el riego agrícola, porque fácilmente se realizan las modificaciones en función a las características y estado fenológico de los cultivos, solo cambiando los aleros con diferentes diámetros de emisores y con diferente tamaño de los aleros del aspersion para regar mayor superficie de cultivo. Estas modificaciones también requieren un incremento en la presión de trabajo del agua para riego.

Para el riego del cultivo con el uso del aspersion artesanal es fundamental el uso de los filtros comerciales o también artesanales, con lo que se garantiza el funcionamiento del aspersion artesanal.

#### 4.2.2 Características técnicas del aspersor artesanal

Realizando varias pruebas del comportamiento del aspersor artesanal, bajo diferentes presiones (0.25, 0.5 y 1 bar) de trabajo, diferentes diámetros (1 y 1.5 mm) de los emisores y separación entre emisores fue de 2 y 2.5 cm, con estas pruebas se ha logrado caracterizar técnicamente al aspersor artesanal, los resultados se encuentran detallados en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. **Caracterización técnica del aspersor artesanal**

DIAMETRO DE LOS EMISORES (mm)	DISTANCIA ENTRE EMISORES (cm)	PRESIÓN DE TRABAJO (Bar)	ANGULO DE TRAYECTORIA (°)	CAUDAL REQUERIDO (l/h)	RADIO MOJADO (m)	CU (%)	UD (%)
1	2.5	0.25	20-25	420	5	71	47.1
1	2.5	0.5	20-25	600	6	83.5	76.9
1	2.5	1	20-25	840	7	77.7	66.4
1	2	1	20-25	1320	7	75.8	48.3

El cuadro 9, de caracterización del aspersor artesanal corresponde al funcionamiento del riego con un solo aspersor. En un sistema de riego por aspersión para el funcionamiento es muy importante la presión del agua ejercida sobre el aspersor, en este caso para un mejor desempeño del aspersor la presión mínima fue de 0.25 bar y un máximo de 3 bar, es decir a mayor de 2 bar el aspersor sufre daños por fricción lo que reducirá su vida útil del aspersor artesanal.

En función a la presión de trabajo del aspersor artesanal se encuentra dentro de los parámetros de baja presión de servicio (menor a 2 bar).

En la región de Valle de Sorata es muy fácil de conseguir una presión de agua superior a 0.5 bar, por las características topográficas de la región y la diferencia de altura existente entre la red principal de riego y las parcelas de cultivo.

En función a los resultados, el aspersor artesanal tiene un radio de riego de 5 a 7 m, la cual esta en función a la presión de trabajo y el diámetro de los emisores como se muestra en el cuadro 6. En promedio el radio de riego fue de 6 m, con un ángulo de salida de agua del emisor de entre 20 y 25 ° con respecto a la horizontal.

De acuerdo a los resultados sobre el distanciamiento de los emisores a mayor distanciamiento requiere para su funcionamiento menor presión de trabajo y viceversa. Es decir a mayor de 1.5 mm de diámetro requiere mayor presión de trabajo, en donde las gotas de agua también son grandes lo que puede causar daños en los cultivos, mientras menor sea el diámetro de los emisores del aspersor las gotas de agua también son pequeñas, lo que favorece para el riego de los cultivos en almácigos y recién trasplantados.

Mediante las pruebas realizadas se ha logrado determinar el mejor distanciamiento entre emisores la cual fue de 2.5 cm y el diámetro del emisor de 1 mm.

Con respecto al volumen de gasto de agua es variable como se muestra en el cuadro 6, esta en función a la presión de agua ejercida. Es decir una presión de 0.25 bar, con un diámetro de 1mm del emisor tiene un gasto de 420 l/h, mientras para una presión de 0.5 bar, con diámetro del emisor de 1 mm tiene un gasto de 600 l/h y para una presión de 1 bar, con diámetros de 1.5 del emisor requiere 1380 l/h para su normal funcionamiento.

Según el análisis del coeficiente de uniformidad de riego de Christiansen (1942), y el coeficiente de distribución de Merriam y Keller (1975), se llega a la conclusión el

mejor comportamiento del aspersor artesanal fue con 1 mm de diámetro del emisor a diferentes presiones de trabajo (0.25, 0.5 y 1 bar), con sus respectivos coeficientes de uniformidad (71, 83.5 y 77.7 %), con una uniformidad de riego de 47.1, 76.9 y 66.4 % respectivamente.

Finalmente el aspersor artesanal con un mejor comportamiento fue el aspersor con un diámetro de los emisores de 1 mm, distanciamiento entre emisores 2.5 cm a una presión de trabajo de 0.5 bar, con gasto de 600 l/h, alcanzando un coeficiente de uniformidad de 83.5 % y su respectivo uniformidad de riego de 76.9 %. Por tanto este valor del coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución se encuentra dentro de los parámetros establecidos por Tarjuelo et al (1991).

#### **4.2.3 Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal**

Para la realización del calculo hidráulico del aspersor artesanal se ha establecido una red de cuatro aspersores artesanales casi idénticos en su diseño la cual ha sido sometido a una presión de trabajo entre 0.25 a 0.5 bar en cada uno de los aspersores en estudio. El diseño hidráulico es la relación entre el caudal que descarga el emisor y la presión existente en la entrada del aspersor como indica Tarjuelo, (1999).

La construcción y el mantenimiento del aspersor artesanal esta al alcance de los usuarios, porque es un producto íntegramente artesanal, es decir cualquier parte del aspersor puede ser reemplazado con gran facilidad., lo que no ocurre con un aspersor comercial.

En la figura 19, se muestra una red de aspersores instalada en donde se realizó las evaluaciones respectivas del coeficiente de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y la eficiencia de aplicación (Ed) del aspersor artesanal, los tres parámetros de evaluación están expresados en porcentaje.



Figura 19. Red de aspersores artesanales en funcionamiento

Esta evaluación se ha realizado con la ayuda de 16 pluviómetros, que tiene un diámetro de 24.5 cm y a una altura de 12 cm, como el área del pluviómetro es bastante significativo, el tiempo de las pruebas fue de 15 minutos obteniéndose igual precisión en un ensayo que dure 45 minutos como indica Tarjuelo (1999), en su libro el riego por aspersión y su tecnología.

#### **4.2.3.1 Evaluación de coeficiente de uniformidad de riego**

En el momento de la evaluación las condiciones climáticas reinantes fueron: Temperatura ambiente de 27.3 °C, humedad relativa del ambiente 29 % y la humedad se incrementó en el momento de iniciar el riego hasta 74 %, También se ha comprobado el estado de la humedad del suelo a una profundidad de 20 cm con la ayuda del instrumento llamado pH-MOISTURE METER, donde indica que no existe

una humedad adecuada para el desarrollo óptimo de las plantas, por tanto se debe adicionar riego suplementario para llegar a una humedad óptima, en el instrumento la zona verde es el indicador de humedad apto para el crecimiento de los diferentes cultivos hortícolas.

En el presente trabajo dirigido se ha realizado la evaluación del comportamiento hidráulico del aspersor artesanal en donde la variable fue el distanciamiento entre emisores de 2 a 2.5 cm y el diámetro de los emisores de 1 y 1.5 mm a una presión de trabajo entre 0.25 a 0.5 bar de agua.

Para esta evaluación se ha utilizado la fórmula de coeficiente de uniformidad desarrollado por Christiansen (1942). En la siguiente tabla se detallan los resultados alcanzados:

**Cuadro 7. Resultado de coeficiente de uniformidad**

<b>Presión de trabajo (bar).</b>	<b>Alero del aspersor (cm).</b>	<b>Diámetro de los emisores (mm)</b>	<b>Separación entre emisores (cm).</b>	<b>Coeficiente de Uniformidad (%)</b>
<b>0.25</b>	25	1	2.5	83.5
<b>0.25</b>	25	1.5	2.5	84.0
<b>0.50</b>	25	1	2.5	83.6

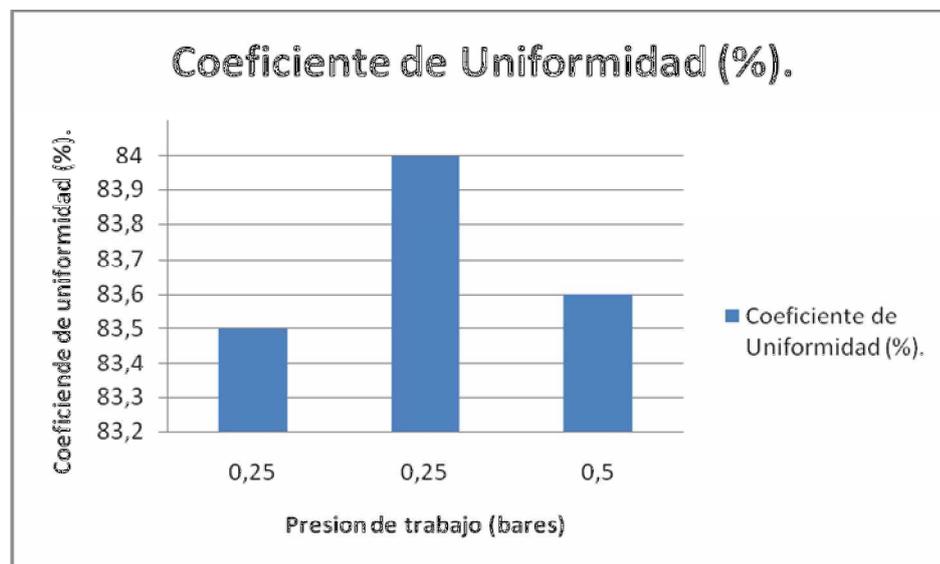
El cuadro 7, presenta el resumen de los resultados obtenidos en un marco cuadrado de riego 5 x 5 m en donde no ha existido una influencia significativa del viento (ausencia de viento), lo que favoreció en gran manera lograr resultado de 83.8, 84 y

83.6 % de coeficiente de uniformidad. La presencia de viento de 4 m/s afecta enormemente al coeficiente de uniformidad de distribución de agua sobre el suelo, cuando el riego se los realiza con un solo aspersor artesanal.

El coeficiente promedio de uniformidad 83.7% se alcanzó cuando el cielo ha estado completamente despejado, y el movimiento del aire mínimo (no hay circulación de viento), a una presión de trabajo entre 0.25 a 0.5 bar como se muestra en el grafico 1.

Cuando existe una baja uniformidad en un sistema de riego implica la existencia de zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas. En cualquier caso con una baja uniformidad será difícil obtener producciones satisfactorias en los que refiere al rendimiento de los cultivos.

Grafico 1. **Resultado de coeficiente de uniformidad**



Según de gráfico 1, nos muestra que a menor diámetro de los emisores las gotas de agua son mas pequeñas y propensos al arrastre por un viento suave, mientras a 1.5 mm de diámetro y a la misma presión de trabajo el coeficiente de uniformidad es superior (84%) al de diámetro de 1 mm, porque las gotas son mas gruesas, los aspersores con diámetros mayores 1 mm son aptos para el riego de hortalizas ya establecidos y los diámetros de los emisores menor o igual a 1 mm son aptos para el riego de las hortalizas en almácigo y en el momento de trasplante porque las gotas de agua no lastiman a las plántulas tiernas.

La red de aspersores a una presión de trabajo de 0.5 bar en cada uno de los aspersores presentó un coeficiente de uniformidad de 83.6 % lo que valida al aspersor artesanal para el uso en sistemas de riego por aspersion. Tarjuelo et al (1999).

Según el gráfico 1 el coeficiente de uniformidad no solo esta en función a la presión de trabajo, si no que depende estrictamente del diámetro de los emisores y su respectivo distanciamiento entre emisores y el ángulo de salida del agua de los emisores en este caso fue de  $25^{\circ}$  con respecto a la horizontal.

El coeficiente de uniformidad promedio de la evaluación del aspersor artesanal fue de 83.6 %, este valor esta dentro de los parámetros establecidos para los sistema de riego por aspersion (70 a 86%).

Para determinar la presión de trabajo mínimo se ha realizado varias pruebas, hasta el que el alero del aspersor gire libremente sin trancarse (sin detenerse), la presión mínima de funcionamiento es de 0.25 bar lo que nos indica que el aspersor artesanal bien construido puede funcionar muy bien con presiones desde 0.25 hasta 2 bar de presión manométrica, mayor esta presión el aspersor no tendrá una vida útil mayor por el desgaste del material PVC por fricción entre las partes.

El tamaño del aspersor no condiciona la uniformidad de distribución de agua, lo que condiciona la uniformidad son: presión de trabajo, distanciamiento entre emisores y el diámetro de los emisores y como agentes externos esta la velocidad del viento, temperatura y la humedad ambiental.

El aspersor artesanal tiene un comportamiento mejor en marco de riego cuadrado 5 x 5 m o 6 x 6 m aunque también en marco triangular

La uniformidad de riego es un parámetro que caracteriza a todo el sistema de riego, desde el diseño hidráulico hasta su mantenimiento en el tiempo, en la disminución de la uniformidad intervienen varios factores, entre los que se destacan: De tipo constructivo.- los procesos de fabricación y los materiales utilizados hacen que emisores de un mismo diámetro, no sean exactamente iguales entre si y proporcionen caudales diferentes para una misma presión de trabajo. Además, existen en el mercado diferentes tipos y calidades de PVC y diferentes marcas de brocas y el funcionamiento es variable, porque se trata de un producto meramente artesanal.

Falencias en el diseño.- un inadecuado construcción, un inadecuado diseño del sistema, en particular en el filtrado, incide directamente en la obstrucción de emisores. Así mismo fallas en el diseño hidráulico de tuberías y laterales pueden someter el sistema a diferentes pérdidas de carga y variación de presiones no acordes al emisor seleccionado.

Las obstrucciones es uno de los principales problemas que se presentan en las instalaciones de riego por aspersión. Estas obstrucciones se pueden producir por causas de falta de filtro para agua, entre las físicas podemos destacar las de naturaleza inorgánica que son los sólidos en suspensión (arenas, limos, y arcillas), que suelen atravesar el sistema de filtrado y de esta manera obstruyen los emisores del aspersor artesanal.

#### 4.2.3.2 Evaluación de coeficiente de distribución (UD).

Para la evaluación del coeficiente de distribución se ha utilizado la fórmula introducida por Merriam y Keller (1978), en la siguiente tabla se resumen los resultados alcanzados:

Cuadro 8. Resultado de coeficiente de distribución

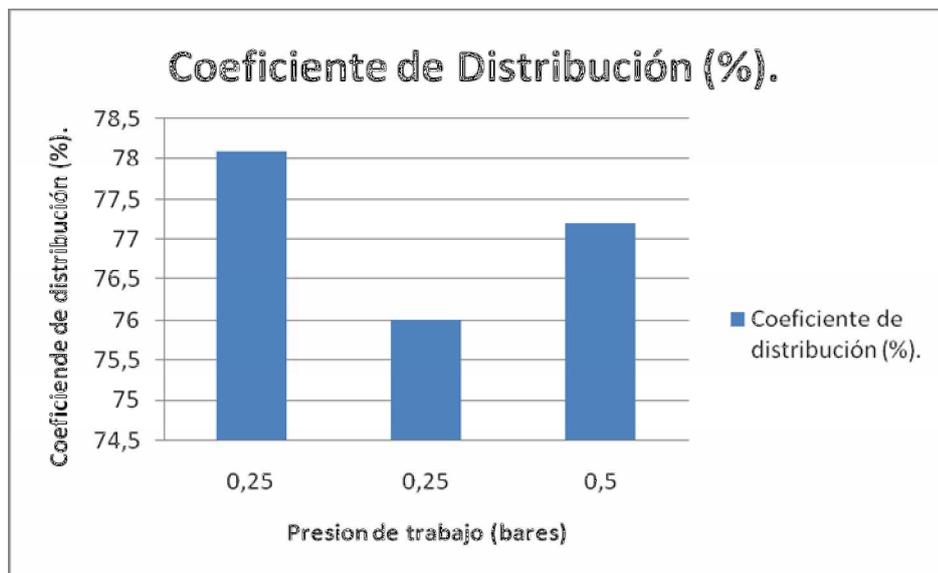
Presión de trabajo (bar).	Alero del aspersor (cm).	Diámetro de los emisores (mm)	Separación entre emisores (cm).	Coeficiente de Distribución (%).
0.25	25	1	2.5	78.1
0.25	25	1.5	2.5	76.0
0.50	25	1	2.5	77.2

Según los resultados obtenidos de la uniformidad de distribución en el cuadro 8 y comparando con los intervalos de uniformidad de distribución según Tarjuelo et al, 1999 están dentro del intervalo de ramales móviles de 70 a 86 %.

La uniformidad de distribución, bajo diferentes presiones de trabajo es similar es decir a una presión de trabajo 0.25 bar la uniformidad de distribución es 78.1% y a una presión de trabajo de 0.5 bar la uniformidad de distribución es de 77.2 en promedio el aspersor artesanal diseñado adecuadamente presenta un 77.1% de uniformidad de distribución. El factor que hace variar notablemente la uniformidad de

distribución de riego por aspersión artesanal es el diseño heterogéneo de los emisores, así también la falta de filtración del agua para el riego.

Gráfico 2. Resultados de uniformidad de distribución



Como en el gráfico 2, la uniformidad de distribución a una presión de trabajo entre 0.25 a 0.5 bar es superior al 76 %, esto nos indica que el aspersor artesanal construido es apto para el riego de los diferentes cultivos.

En el supuesto caso la uniformidad de distribución fuera menor al 60 %, nos indica que existe un número importante de emisores mal diseñados u obstruidos con material orgánico, por lo que deberá proceder a la limpieza de todo el sistema, para garantizar una óptima uniformidad de distribución de agua sobre las parcelas.

#### 4.2.3.3 Evaluación de la eficiencia de descarga de riego.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de la eficiencia de descarga del riego, la eficiencia de descarga indica la relación porcentual entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores, la diferencia entre ambas con las pérdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de riego debido fundamentalmente a condiciones climáticas (temperatura, humedad y viento. También hay que incluir a estas diferencias a los errores propios en el proceso de construcción del aspersor artesanal.

Cuadro 9. Resultados de la eficiencia de descarga de riego

Presión de trabajo (bar).	Alero del aspersor (cm).	Diámetro de los emisores (mm)	Separación entre emisores (cm).	Eficiencia de aplicación (%)
0.25	25	1	2.5	78.2
0.25	25	1.5	2.5	60.9
0.50	25	1	2.5	94.5

La eficiencia de descarga en el comportamiento hidráulico del aspersor artesanal fue de 78.2 %, para una presión de trabajo entre 0.25 bar con diámetro del emisor de 1 mm., para la misma presión solo se vario el diámetro del emisor a 1.5 mm, la eficiencia de descarga fue de 60.7 % y cuando se incrementó la presión a 0.5 bar, con 1 mm de diámetro del emisor resulto la eficiencia de descarga de 94.5 %, con respecto a las otras pruebas como se muestra en el cuadro 9.

La eficiencia de descarga promedio del aspersor artesanal fue de 77.8 %, lo que significa que existe una pérdida de 22.2 %, esta pérdida se atribuye a varios factores

como ser: a las condiciones climáticas, humedad relativa del ambiente, viento y otros factores que escapan del control en el momento de la evaluación.

#### 4.2.3.4 Evaluación del caudal emitido por los emisores

El caudal emitido por los emisores depende del diseño geométrico del aspersor, de la presión de trabajo y de las condiciones del viento. Las gotas de agua han de distribuirse de modo que el impacto de las gotas y la intensidad de precipitación simulada no perjudiquen la condición física del suelo, logrando la máxima uniformidad posible.

La dispersión del choro se produce fundamentalmente por la fricción de la vena líquida de agua con el aire y eso hace que llegue al suelo pulverizado. Por tanto el grosor de las gotas de agua está en relación con el diámetro y la presión en las boquillas, es lo que constituye la finura de pulverización, si bien las gotas gruesas pueden destruir la estructura del suelo, las finas pueden ser fácilmente arrastradas por el viento, por tanto la elección del diámetro de las boquillas se debe realizar en función al cultivo a regar y su estado fenológico de la misma.

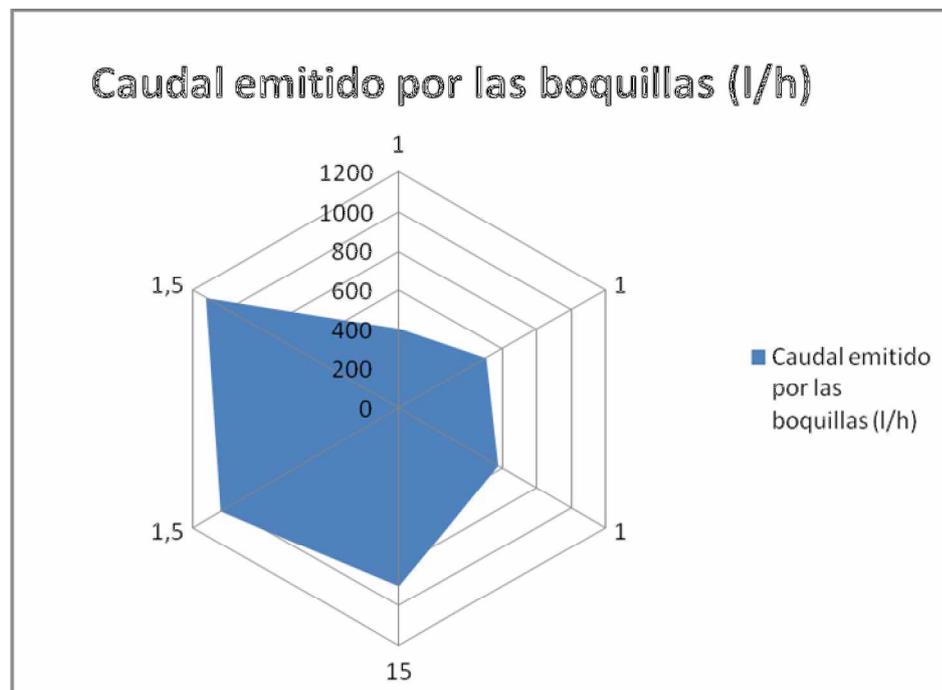
Cuadro 10. Resultados del caudal emitido por las boquillas

<b>Diámetro de la boquilla (mm)</b>	<b>Presión de trabajo (bar)</b>	<b>Caudal emitido por las boquillas (l/h)</b>
1	0.25	404.16
1	0.5	508.4
1	1	578.2
1.5	0.25	900.8
1.5	0.5	1038.5
1.5	1	1123.6

Para la evaluación del caudal emitido el distanciamiento entre emisores o boquillas fue de 2.5 cm, la variable fue el diámetro de las boquillas y la presión de trabajo como se muestra en el cuadro 10.

Según el resultado obtenido el caudal emitido por los emisores del aspersor artesanal es directamente proporcional al incremento en el diámetro de los boquillas y la presión de trabajo ejercido por el agua de riego, por tanto se concluye que a mayor presión de trabajo y diámetro de emisores el gasto de agua de riego también es mayor como se muestra en el siguiente grafico.

Gráfico 3. Caudal emitido por las boquillas del aspersor artesanal



## V. SECCIÓN CONCLUSIVA

De la diversidad de pruebas realizadas del comportamiento hidráulico del aspersor artesanal, para la distribución óptima del riego para la región del valle de Sorata, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ✚ El diseño del aspersor artesanal se ha realizado con la ayuda de tres programas que son: Arccont 6.5, Autocad y Photoshop, para que el diseño sea geométrico.
- ✚ Para determinar el diámetro de los emisores y distanciamiento entre emisores se han realizado una gran diversidad de ensayos, de los cuales el diámetro de 1 - 1.5 mm y la separación en entre ellas de 2.5 cm fue la que mejor se ha comportado a diferentes presiones de trabajo.
- ✚ Los resultados obtenidos muestran que existen muchos factores que afectan a la uniformidad del riego como ser: las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) y falencias en el diseño tienen una influencia directa a la uniformidad de riego así como la no utilización del filtro para agua de riego
- ✚ Durante la evaluación las condiciones climáticas reinantes fueron de 27.3 °C de temperatura, humedad relativa del ambiente de 29 % y casi despreciable la velocidad del viento.
- ✚ Para el funcionamiento del riego por aspersión, la presión y el diámetro de las boquillas de los aleros son muy importantes para un mejor desempeño del aspersor artesanal.
- ✚ Después de realizar varios ensayos se ha determinado la presión mínima para el funcionamiento normal del aspersor fue de 0.25 bar con un gasto de agua de 420 l/h y para una presión de trabajo 1 bar y diámetro de emisores de 1mm presentó un gasto de agua de 840 l/h.

- ✚ La mejor presión de trabajo fue la de 0.5 bar, con un diámetro de 1 mm del emisor y separación entre emisores de 2.5 cm, con un coeficiente de uniformidad de 83.5% y su respectiva uniformidad de distribución de 76.9% para un riego con un solo aspersor.
- ✚ El radio de riego del aspersor artesanal fue de 5 a 7 m, con una presión de 0.25 a 1 bar, con un ángulo de salida de agua del emisor de 25° con respecto a la horizontal.
- ✚ El caudal requerido para el riego es directamente proporcional a la presión de trabajo y el diámetro de los emisores en el aspersor artesanal.
- ✚ En la región de valle de Sorata es muy fácil conseguir una presión de agua superior a 0.5 bar, por las características topográficas de la región y la diferencia de altura que existe entre la red principal y las parcelas de riego.
- ✚ El marco cuadrado (5 x 5m) de aspersión ha resultado ser la variable mejor en la uniformidad de riego con un promedio de 83.7 5% a una presión promedio de trabajo de 0.75 bar, con un 1 mm de diámetro de los emisores y un distanciamiento entre emisores de 2.5 cm.
- ✚ Realizando la evaluación del comportamiento hidráulico del aspersor artesanal en una red de cuatro aspersores se determinó un coeficiente de distribución de promedio de 77.1%.
- ✚ Realizado la evaluación del caudal emitido por las boquillas del aspersor artesanal se ha llegado a la siguiente conclusión: el caudal emitido por las boquillas del aspersor es directamente proporcional a la presión de trabajo y el respectivo diámetro de las boquillas o emisores del aspersor artesanal.
- ✚ Realizado la evaluación en una red de cuatro aspersores del coeficiente de descarga de riego en promedio fue de 72.8%, cuando fue sometido a una presión de trabajo de 0.5 bar, diámetro de los emisores de 1 mm y la separación entre emisores de 2.5 cm respectivamente.

- ✚ El aspersor artesanal presentó una rotación rápida de 80 a 92 vueltas por minuto cuando fue sometido a una presión de trabajo de 0.75 bar, esta variación esta en función a la presión de trabajo del agua, el diámetro y la separación de los emisores de los aleros del aspersor artesanal.
- ✚ La duración del riego tiene un efecto sobre la uniformidad, en el sentido de que a mayor duración del riego mayor es la uniformidad, así como el trabajo con presiones de 1 a 2 bar.
- ✚ Finalmente para lograr un mejor comportamiento del aspersor artesanal para la distribución óptima del riego en regiones de valle es fundamental el uso del filtro para agua de riego.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

BOTTEGA, A., HOOGEN DAM, P., 2004. Obras de riego para zonas montañosas. Cochabamba-Bolivia.

IBAÑEZ, C., FONTÚRBEL, F., PALOMEQUE, S., ARAMAYO, C., 2004. Estrategia de desarrollo sostenible para el municipio de Sorata (Prov. Larecaja, La Paz). Ecología, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Editorial Publicaciones Integrales, La Paz. ISBN 99905-0-449-0.

CHIPANA, R., 1996. Principios de Riego y Drenaje "IRTEC" Docente de la Facultad de Agronomía UMSA-La Paz Bolivia.

COMBELLES, P., 2000. Jardín Botánico Purani Churiquimbaya. Le Courier de la Nature. Edite par la Societe nationale de Protection de la Nature Novembre-December. La Paz.- Bolivia 34-37 p.

GISPERT, C., 1994. Biblioteca practica agrícola y ganadera. Barcelona: Oceano/Centrum. pg.50.

HOOGEN DAM, P., 2007a. Resumen ejecutivo Proyecto de Innovación Estratégica Nacional en Riego "PIEN-Riego". "Generación de tecnologías para optimizar la distribución y el manejo de agua de riego". p.6.

HOOGEN DAM, P., 2007b. Resumen ejecutivo Proyecto de Innovación Estratégica Nacional en Riego "PIEN-Riego". "Operación y mantenimiento de sistemas de riego tecnificado". p.27.

LIONEL, R., 1986. Mecanización del riego por aspersión. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación "FAO" Roma. 52 p.

LOSADA, A., 2005. El riego. Fundamentos de su hidrología y de su práctica. Madrid-España. 261p.

MAGDAR, 2000. Inventario Nacional del Sistema de Riego. Ed. Programa Nacional de Riego Cochabamba-Bolivia. 27-31 p.

MASAL, 2007. Kausanapaq unu (Agua para la vida). Una experiencia de optimización del agua en provincias altas del Cusco. Proyecto MASAL – Asociación Kausay –Diciembre 2007. 53 y 54 p.

PDM-SORATA, 2004. Plan de Desarrollo Municipal de Sorata. Primera Sección Municipal – Provincia Larecaja. Elaborado por Servicios Técnicos Integrales "SETEM-200".

PRADO, C., 2004. Manual como elaborar un perfil de riego por aspersión. Convenio FDCC-IAA. Cuzco-Perú. 18-30 p.

PRONAR, 1999. Programa nacional de riego. Revista No 2. 25p.

\_\_\_\_\_, 2004. Programa Nacional de Riego "Investigación Aplicada". Revista No 4. 45p.

PROYECTO AGUA, 1997. Análisis de sistemas hidráulicos aplicados a riegos y drenajes. Curso M12/1997. Valencia 27 de octubre a 7 de noviembre. Universidad Politécnica de Valencia.

REPETO, C., LINSKENS, M., FESQUET, H., 1974. Matemática Moderna "Geometría 1". Editorial Kapelusz S. A., Vigésima edición, Buenos Aires. 5-13 p.

SÁNCHEZ, C., 2005. Sistemas de riego. Uso, manejo e instalación. Lima-Perú.

SERRANO, G., 2011. Sistemas de riego y su evaluación. Docente de la Facultad de Agronomía UMSA-La Paz Bolivia.

TARJUELO, J., 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. 2da edición.

WAGNER, M., ÁVILA, I., PACHECO, H., MEDINA, G., HADDAD, O., 1985. Evaluación del método de riego por aspersión en los valles de Taiguaiguay y Tucutunemo y su comparación con un modelo de riego. Venezuela. p. 2.

# ANEXOS

# Anexo 1. PLANILLA DE EVALUACIÓN

## “ASPERSOR ARTESANAL”

### (Individual)

Evaluación N° .....

Nombre del Evaluador: .....

Fecha de Evaluación: .....

Tipo de Aspersor: ..... Diámetro de emisores (mm): .....

Alero del aspersor (cm): ..... Cantidad de emisores: .....

Separación entre emisores (cm): ..... Altura de Pivote (m): .....

Velocidad del viento (m/s) Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Dirección del viento: Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Cantidad de pluviómetros: ..... Diámetro de pluviómetros (cm): .....

Altura de pluviómetros (cm): ..... Separación de pluviómetros (m): .....

Temperatura ambiente (°C): ..... Humedad ambiente (%): .....

Estado del tiempo:.....

Estado del suelo: ..... Pendiente del terreno (%): .....

Medidor de caudal (m<sup>3</sup>) Inicial: ..... Final: ..... Agua gastada (m<sup>3</sup>) .....

Humedad del S° inicial: ..... Humedad del S° final: .....

Presión de trabajo (bares): ..... Presión de trabajo (Kgf/cm<sup>2</sup>): .....

Hora de comienzo: ..... Hora final: ..... Duración de riego (min): .....

Radio Máximo de riego (m): ..... Radio Mojado (m): .....

#### MEDICIÓN DE PLUVIÓMETROS (ml).

Nº	Distancia del pivote (m)	Volumen de pluviómetros (ml)	Observ.	Nº	Distancia del pivote (m)	Volumen de pluviómetros (ml)	Observ.
1				11			
2				12			
3				13			
4				14			
5				15			
6				16			
7				17			
8				18			
9				19			
10				20			

## Anexo 2. PLANILLA DE EVALUACIÓN “ASPERSOR ARTESANAL” (Marco cuadrado 5 x 5m)

Evaluación N° .....

Nombre del Evaluador: .....

Fecha de Evaluación: .....

Tipo de Aspersor: ..... Diámetro de emisores (mm): .....

Alero del aspersor (cm): ..... Cantidad de emisores: .....

Separación entre emisores (cm): ..... Altura de Pivote (m): .....

Velocidad del viento (m/s) Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Dirección del viento: Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Cantidad de pluviómetros: ..... Diámetro de pluviómetros (cm): .....

Altura de pluviómetros (cm): ..... Separación de pluviómetros (m): .....

Temperatura ambiente (°C): ..... Humedad ambiente (%): .....

Estado del tiempo: .....

Estado del suelo: ..... Pendiente del terreno (%): .....

Humedad del S° inicial: ..... Humedad del S° final: .....

Presión de trabajo (bares): ..... Presión de trabajo (Kgf/cm<sup>2</sup>): .....

Hora de comienzo: ..... Hora final: ..... Duración de riego (min): .....

Radio Máximo de riego (m): ..... Radio Mojado (m): .....

### MEDICIÓN DE PLUVIÓMETROS (ml).

N°	Volumen de pluviómetros (ml)	Observ.	N°	Volumen de pluviómetros (ml)	Observ.
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		

## Anexo 3. PLANILLA DE EVALUACIÓN “ASPERSOR ARTESANAL” (Individual)

Evaluación N° .....

Nombre del Evaluador: .....

Fecha de Evaluación: .....

Tipo de Aspersor: ..... Diámetro de emisores (mm): .....

Alero del aspersor (cm): ..... Cantidad de emisores: .....

Separación entre emisores (cm): ..... Altura de Pivote (m): .....

Velocidad del viento (m/s) Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Dirección del viento: Inicio: ..... Medio: ..... Final: .....

Cantidad de pluviómetros: ..... Diámetro de pluviómetros (cm): .....

Altura de pluviómetros (cm): ..... Separación de pluviómetros (m): .....

Temperatura ambiente (°C): ..... Humedad ambiente (%): .....

Estado del tiempo: .....

Estado del suelo: ..... Pendiente del terreno (%): .....

Medidor de caudal (m<sup>3</sup>) Inicial: ..... Final: ..... Agua gastada (m<sup>3</sup>) .....

Humedad del S<sup>o</sup> inicial: ..... Humedad del S<sup>o</sup> final: .....

Presión de trabajo (bares): ..... Presión de trabajo (Kgf/cm<sup>2</sup>): .....

Duración de riego (min): .....

### MEDICIÓN DEL CAUDAL DE LOS EMISORES (ml).

Tiempo (Seg)	Alero Izquierdo											Alero Derecho										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Giro del aspersor (vueltas/minuto): .....

## Anexo 4. Evaluación del aspersor artesanal ( un solo aspersor)

Caudal inicial	206,06 m3	
Caudal final	206,13 m3	
Volumen gastado	0,07 m3	420 l/h
Presión de trabajo	0,25 Bar	2,5 mca
tiempo	15 min	
Distancia entre emisores	2,5 cm	
Diámetro del emisor	1 mm	

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	Ihi-PromedioI
1	43	68	40,9	27,15
2	68	64	40,9	23,15
3	64	52	40,9	11,15
4	38	52	40,9	11,15
5	26	52	40,9	11,15
6	52	50	40,9	9,15
7	39	48	40,9	7,15
8	38	48	40,9	7,15
9	52	46	40,9	5,15
10	31	45	40,9	4,15
11	45	43	40,9	2,15
12	52	39	40,9	1,85
13	48	38	40,9	2,85
14	46	38	40,9	2,85
15	50	31	40,9	9,85
16	48	26	40,9	14,85
17	20	20	40,9	20,85
18	20	20	40,9	20,85
19	18	19	40,9	21,85
20	19	18	40,9	22,85
	Sumatoria Hi=	817		237,30
	Promedio =	40,85		
	Tiempo min=	15,00		

### Calculo de coeficiente de uniformidad

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 71,0 %**

### Calculo de coeficiente de distribución

$$UD_{(25)} = 100 * \frac{\text{Volumen media de recojada en el 25\% de área menos regada}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 47,1 %**

## Anexo 5. Evaluación del aspersor artesanal ( un solo aspersor)

Caudal inicial	205,78 m <sup>3</sup>	
Caudal final	205,88 m <sup>3</sup>	
Volumen gastado	0,10 m <sup>3</sup>	600 l/h
Presión de trabajo	0,5 Bar	5,1 mca
tiempo	15 min	
Distancia entre emisores	2,5 cm	
Diámetro del emisor	1 mm	

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	lhi-PromedioI
2	35	56	39,4	16,60
3	64	50	39,4	10,60
4	56	50	39,4	10,60
5	50	48	39,4	8,60
6	40	48	39,4	8,60
7	38	48	39,4	8,60
8	40	47	39,4	7,60
9	30	41	39,4	1,60
10	41	40	39,4	0,60
11	38	40	39,4	0,60
12	36	40	39,4	0,60
13	48	38	39,4	1,40
14	47	38	39,4	1,40
15	48	37	39,4	2,40
16	48	36	39,4	3,40
17	34	35	39,4	4,40
18	40	34	39,4	5,40
19	32	32	39,4	7,40
20	37	30	39,4	9,40
	Sumatoria Hi=	788		109,80
	Promedio =	39,4		
	Tiempo min=	15		

**Calculo de coeficiente de uniformidad**

$$C_u = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 86,1 %**

**Calculo de coeficiente de distribución**

$$UD_{(25)} = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25\% de área menos regada}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 83,1 %**

## Anexo 6. Evaluación del aspersor artesanal ( un solo aspersor)

Caudal inicial	205,88 m3	
Caudal final	206,02 m3	
Volumen gastado	0,14 m3	840 l/h
Presión de trabajo	1 Bar	10,2 mca
tiempo	15 min	
Distancia entre emisores	2,5 cm	
Diámetro del emisor	1 mm	

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	lhi-PromedioI
1	90	90	61,4	28,65
2	85	88	61,4	26,65
3	60	85	61,4	23,65
4	82	85	61,4	23,65
5	67	82	61,4	20,65
6	88	68	61,4	6,65
7	48	67	61,4	5,65
8	85	62	61,4	0,65
9	35	62	61,4	0,65
10	68	60	61,4	1,35
11	42	60	61,4	1,35
12	54	58	61,4	3,35
13	45	54	61,4	7,35
14	58	50	61,4	11,35
15	62	48	61,4	13,35
16	50	45	61,4	16,35
17	62	45	61,4	16,35
18	45	42	61,4	19,35
19	60	41	61,4	20,35
20	41	35	61,4	26,35
	Sumatoria Hi=	1227		273,70
	Promedio =	61,35		
	Tiempo min=	15,00		

### Calculo de coeficiente de uniformidad

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 77,7 %**

### Calculo de coeficiente de distribución

$$UD_{(25)} = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25\% de área menos regada}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 66,4 %**

## Anexo 7. Evaluación del aspersor artesanal ( un solo aspersor)

Caudal inicial	204,5 m3	
Caudal final	204,72 m3	
Volumen gastado	0,22 m3	1320 l/h
Presión de trabajo	1 Bar	10,1974477 mca
tiempo	15 min	
Distancia entre emisores	2 cm	
Diámetro del emisor	1 mm	

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	lhi-PromedioI
1	75	100	67,3	32,75
2	72	96	67,3	28,75
3	52	93	67,3	25,75
4	100	90	67,3	22,75
5	82	82	67,3	14,75
6	70	82	67,3	14,75
7	67	75	67,3	7,75
8	67	75	67,3	7,75
9	75	72	67,3	4,75
10	90	70	67,3	2,75
11	82	67	67,3	0,25
12	93	67	67,3	0,25
13	67	67	67,3	0,25
14	96	67	67,3	0,25
15	67	60	67,3	7,25
16	60	52	67,3	15,25
17	30	37	67,3	30,25
18	37	33	67,3	34,25
19	30	30	67,3	37,25
20	33	30	67,3	37,25
Sumatoria Hi=		1345		325,00
Promedio =		67,25		
Tiempo min=		15,00		

**Calculo de coeficiente de uniformidad**

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 75,8 %**

**Calculo de coeficiente de distribución**

$$UD_{(25)} = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25\% de área menos regada}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 48,3 %**

**Anexo 8. AFORO DE EMISORES DEL ASPERSOR ARTESANAL**

Tiempo 30 segundos

Nº	Dsitancia emisor 2,5cm , diametro 1 mm, presion 0,25 bar	Dsitancia emisor 2,5cm , diametro 1 mm, presion 0,5 bar	Dsitancia emisor 2,5cm , diametro 1 mm, presion 1bar	Dsitancia emisor 2 cm , diametro 1.5 mm, presion 0,25bar	Dsitancia emisor 2 cm , diametro 1,5 mm, presion 0,5 bar	Dsitancia emisor 2 cm , diametro 1,5 mm, presion 1bar
1	170	220	289	368	390	460
2	200	220	293	385	430	590
3	195	240	301	370	410	460
4	187	250	296	255	390	360
5	205	240	240	325	405	440
6	185	245	232	370	350	420
7	180	230	298	290	370	483
8	180	230	218	331	412	427
9	178	238	234	317	382	348
10	194	230	256	378	404	447
11	192	223	233	367	406	327
12	176	238	249	310	398	418
13	183	234	305	333	381	386
14	189	236	301	373	411	394
15	181	242	271	346	400	367
16	188	245	306	366	414	395
17	196	245	254	315	403	493
18	189	231	243	366	381	461
19				377	394	419
20				315	373	431
21				349	375	367
22				301	375	470
<b>Suma</b>	<b>3368</b>	<b>4237</b>	<b>4819</b>	<b>7507</b>	<b>8654</b>	<b>9363</b> ml
<b>Prom</b>	<b>187</b>	<b>235</b>	<b>268</b>	<b>341</b>	<b>393</b>	<b>426</b> ml
<b>Tiempo</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b> seg
<b>Caudal</b>	<b>404,16</b>	<b>508,44</b>	<b>578,28</b>	<b>900,84</b>	<b>1038,48</b>	<b>1123,56</b> l/h

Anexo 9.

**CALCULO DE CUEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO POR ASPERSION**  
**MARCO CUADRADO 5X5 m**

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	lhi-Promediol
1	160	210	157,25	52,75
2	119	210	157,25	52,75
3	128	210	157,25	52,75
4	120	180	157,25	22,75
5	124	170	157,25	12,75
6	140	165	157,25	7,75
7	160	160	157,25	2,75
8	210	160	157,25	2,75
9	135	155	157,25	2,25
10	180	140	157,25	17,25
11	210	135	157,25	22,25
12	170	130	157,25	27,25
13	165	128	157,25	29,25
14	210	124	157,25	33,25
15	155	120	157,25	37,25
16	130	119	157,25	38,25
	Sumatoria Hi=	2516		414,00
	Promedio =	157,25		
	Tiempo min=	15,00		

**Calculo de coeficiente de uniformidad**

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 83,5 %**

Nº	Caudal emitido
1	145
2	245
3	205
4	120
5	225
6	210
7	190
8	215
9	170
10	230
11	230
12	205
13	190
14	172
15	199
16	179
17	192
18	233
<b>Suma</b>	<b>3555</b> ml
<b>Prom</b>	<b>197,5</b> ml
<b>Tiem</b>	<b>30</b> seg

**Calculo de coeficiente de distribución**

$$UD = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25% de área} - \text{menor recogida}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 78,1 %**

**Calculo de eficiencia de aplicación**

$$Ed = 100 * \frac{\text{Eficiencia media recogida}}{\text{Eficiencia media aplicada}}$$

$$Pm = \frac{v}{s} * 1000$$

**Pm = 3,336 mm**

$$Hm = \frac{Pm}{t} * 60$$

**Hm= 13,342 mm/Hr**

$$qr = \frac{q}{(S1) * (Sm)} * 1000$$

**q= 0,427 m3/hr**  
**qr= 17,064 mm/Hr**

**Ed= 78,2 %**

**CALCULO DE CUEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO POR ASPERSION**

**MARCO CUADRADO 5X5 m**

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	hi-Promedio
1	155	255	190,13	64,88
2	146	250	190,13	59,88
3	158	240	190,13	49,88
4	190	225	190,13	34,88
5	145	220	190,13	29,88
6	141	200	190,13	9,88
7	175	190	190,13	0,13
8	225	190	190,13	0,13
9	240	182	190,13	8,13
10	190	175	190,13	15,13
11	220	170	190,13	20,13
12	200	158	190,13	32,13
13	255	155	190,13	35,13
14	250	146	190,13	44,13
15	170	145	190,13	45,13
16	182	141	190,13	49,13
	Sumatoria Hi=	3042		498,50
	Promedio =	190,13		
	Tiempo min=	15,00		

**Calculo de coeficiente de uniformidad**

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

**CU= 83,6 %**

Nº	Caudal emitido
1	220
2	220
3	240
4	250
5	240
6	245
7	230
8	230
9	238
10	230
11	223
12	238
13	234
14	236
15	242
16	245
17	245
18	231
<b>Suma</b>	<b>4237</b> ml
<b>Prom</b>	<b>235,4</b> ml
<b>Tiem</b>	<b>30</b> seg

**Calculo de coeficiente de distribución**

$$UD = 100 * \frac{\text{Volumen media de recogida en el 25% de área} - \text{menor recogida}}{\text{Volumen media de agua recogida}}$$

**UD 77,2 %**

**Calculo de eficiencia de aplicación**

$$Ed = 100 * \frac{\text{Eficiencia media recogida}}{\text{Eficiencia media aplicada}}$$

$$Pm = \frac{v}{s} * 1000$$

**Pm = 4,033 mm**

$$Hm = \frac{Pm}{t} * 60$$

**Hm= 16,132 mm/Hr**

$$qr = \frac{q}{(S1) * (Sm)} * 1000$$

**q= 0,508 m3/hr**  
**qr= 20,3376 mm/Hr**

**Ed= 79,3 %**

CALCULO DE CUEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO POR ASPERSION

MARCO CUADRADO 5X5 m

Nº	Lectura de pluviómetros (ml)	Hi ordenada (ml)	Promedio Hi (ml)	hi-Promedio
1	210	238	181,63	56,38
2	195	222	181,63	40,38
3	222	216	181,63	34,38
4	238	210	181,63	28,38
5	160	206	181,63	24,38
6	145	200	181,63	18,38
7	216	195	181,63	13,38
8	200	190	181,63	8,38
9	147	190	181,63	8,38
10	136	180	181,63	1,63
11	180	160	181,63	21,63
12	131	147	181,63	34,63
13	190	145	181,63	36,63
14	140	140	181,63	41,63
15	190	136	181,63	45,63
16	206	131	181,63	50,63
	Sumatoria Hi=	2906		464,75
	Promedio =	181,63		
	Tiempo min=	15,00		

Calculo de coeficiente de uniformidad

$$Cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

CU= 84,0 %

Nº	Caudal emitido
1	310
2	390
3	380
4	310
5	230
6	290
7	203
8	375
9	176
10	210
11	262
12	312
13	359
14	209
15	276
16	243
17	352
18	381
Suma	5268 ml
Prom	292,67 ml
Tiem	30 seg

Calculo de coeficiente de distribución

$$UD = 100 * \frac{\text{Sumatoria media recibida}}{\text{Volumen media de agua recibida}}$$

UD 76,0 %

Calculo de eficiencia de aplicación

$$Ed = 100 * \frac{\text{Sumatoria media recibida}}{\text{Sumatoria media aplicada}}$$

$$Pm = \frac{v}{s} * 1000$$

Pm = 3,853 mm

$$Hm = \frac{Pm}{t} * 60$$

Hm = 15,410 mm/Hr

$$qr = \frac{q}{(S1) * (Sm)} * 1000$$

q = 0,632 m3/hr  
qr = 25,2864 mm/Hr

Ed = 60,9 %

Anexo 12.



**Proceso de construcción del aspersor artesanal**



**Lijado de las asperezas en los tubos PVC**

Anexo 13.



**Proceso del armado del aspersor**



**Pruebas de funcionamiento del aspersor**

Anexo 14.



**Pruebas de validación del aspersor artesanal**

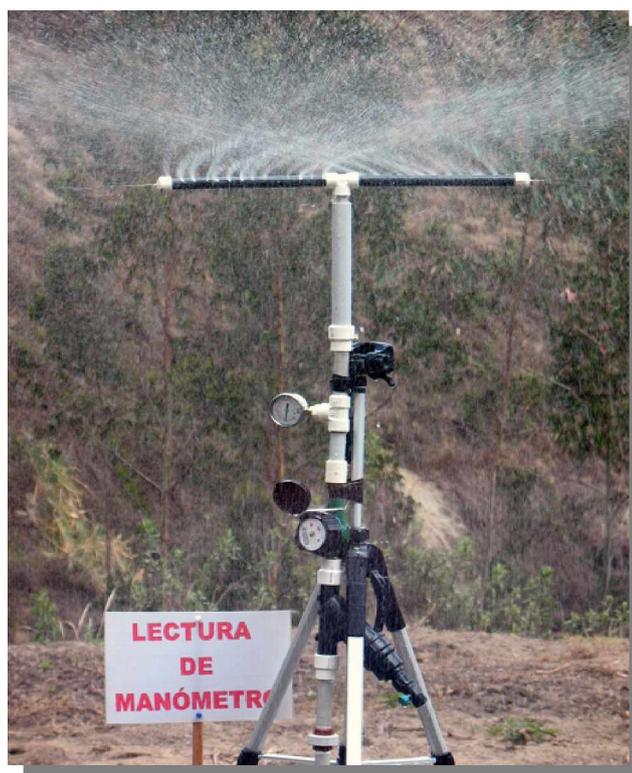


**Aspersor con equipos de medición**

Anexo 15.



**Pruebas de validación del aspersor artesanal**



**Aspersor artesanal en funcionamiento**

Anexo 16.



**Red de aspersores y pluviómetros para la medición de CU.**



**Medición del volumen de agua en los pluviómetros**

Anexo 17.



**El área de riego del aspersor artesanal**



**El riego del cultivo con aspersor artesanal**