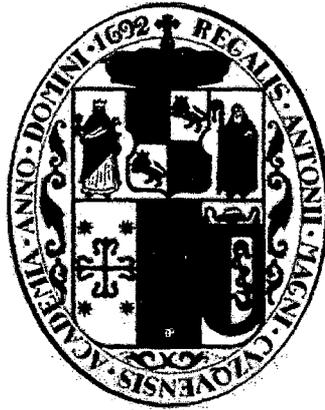


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS TROPICALES**

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA TROPICAL



**TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC:**

**“EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE RIEGO EN  
TRES MÓDULOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DEL  
CACAO, EN EL SECTOR DE MARANNIYOC- ECHARATI”**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO TROPICAL**

**Bachiller:**

**EDWIN PORFIRIO VELASCO SEQUEIROS**

**ASESOR: Mg. Mario Oviedo Bellota.**

**Quillabamba - Mayo del 2013**

## **DEDICATORIA**

- A Dios por guiarme día a día en esta etapa importante de mi vida, forjador de mi camino, y quien me acompaña siempre.
- A mis padres en especial a mi señora madre que está en la gloria de dios, a mi familia en las personas de mi esposa, mis hijos y mis hermanos, por la motivación que me ofrecieron en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Facultad de Ciencias Agrarias Tropicales y a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por haberme dado la posibilidad de seguir estudios Universitarios y de formarme como profesional.
  
- A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias Tropicales, quienes me brindaron sus experiencias y conocimientos. Doctor Isaías Merma Molina, Ing. Mario Huamán, Ing. Policarpo Quispe Flores y en especial a mi asesor Magister Mario Oviedo Bellota, quienes colaboraron en la realización del presente trabajo y a mis compañeros con quienes compartí los años de estudio.

| <b>CONTENIDO</b>  | <b>Pg.</b> |
|---|------------|
| DEDICATORIA   | I          |
| AGRADECIMIENTO  | li         |
| <b>I. INTRODUCCION.</b>                                     | <b>1</b>   |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.                             | 2          |
| 1.1.1 Descripción del problema.                             | 2          |
| 1.1.2 Identificación del problema.                          | 6          |
| 1.1.3 Formulación del problema.                             | 6          |
| 1.2 OBJETIVOS.  | 7          |
| 1.2.1 Objetivo general.                                     | 7          |
| 1.2.1 Objetivos específicos.                                | 7          |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN.  | 7          |
| 1.4 HIPÓTESIS.  | 9          |
| <b>II. REVISION BIBLIOGRAFICA</b>                           | <b>10</b>  |
| 2.1 ANTECEDENTES.   | 10         |
| 2.2 RIEGO.  | 11         |
| 2.2.1 Dosis de riego  | 13         |
| 2.2.2 Riego por aspersión.                                  | 14         |
| 2.2.2.1 Coeficiente de uniformidad de riego por aspersión.  | 15         |
| 2.2.2.2 Eficiencia de aplicación.                           | 15         |
| 2.2.2.3 De las pérdidas de agua.                            | 16         |
| 2.2.3 Determinación de los índices técnicos de riego.       | 16         |
| 2.2.3.1 Láminas de riego.                                   | 16         |
| 2.2.3.2 Condiciones edafoclimaticas.                        | 19         |
| 2.2.4 Ventajas y desventajas del riego por aspersión.       | 26         |
| 2.2.4.1 Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión.  | 28         |
| 2.2.4.2 Principales inconvenientes del riego por aspersión. | 28         |
| 2.2.5 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión. | 28         |
| 2.2.5.1 Componentes de riego por aspersión.                 | 28         |
| 2.3 CULTIVO EN ESTUDIO.                                     | 34         |
| 2.3.1 Origen.   | 34         |
| 2.3.2 TAXONOMÍA.  | 35         |
| 2.3.3 Descripción botánica.                                 | 35         |
| 2.3.3.1 Raíz.   | 36         |
| 2.3.3.2 Tallo.  | 36         |
| 2.3.3.3 Hojas.  | 37         |

|                                   |   |           |
|-----------------------------------|---|-----------|
| 2.3.3.4                           | Flores.   | 37        |
| 2.3.3.5                           | Frutos.   | 38        |
| 2.3.3.6                           | Semilla.  | 38        |
| 2.3.4                             | Requerimientos Edáficos del cacao.                            | 39        |
| 2.3.5                             | Requerimientos edafoclimaticas.                               | 39        |
| <b>III. MATERIALES Y METODOS.</b> |   | <b>42</b> |
| 3.1                               | MATERIALES.   | 42        |
| 3.1.1                             | Campo experimental.   | 42        |
| 3.1.1.1                           | Ubicación del campo experimental.                             | 42        |
| 3.1.1.2                           | Ubicación política  | 42        |
| 3.1.1.3                           | Condiciones del campo experimental.                           | 42        |
| 3.1.1.4                           | Características de la zona de estudio                         | 43        |
| 3.1.1.5                           | Historial del campo experimental.                             | 45        |
| 3.1.1.6                           | Registro meteorológico  | 45        |
| 3.1.1.7                           | Materiales y herramientas                                     | 46        |
| 3.2                               | MÉTODOS.  | 47        |
| 3.2.1                             | Tipo de investigación   | 47        |
| 3.2.2                             | Parámetros de evaluación                                      | 47        |
| 3.2.3                             | Diseño agronómico.  | 48        |
| 3.2.3.1                           | Calculo de la capacidad de campo (CC).                        | 49        |
| 3.2.3.2                           | Calculo de punto de marchitez.                                | 49        |
| 3.2.3.3                           | Calculo de densidad aparente.                                 | 50        |
| 3.2.3.4                           | Profundidad radicular efectiva.                               | 51        |
| 3.2.3.5                           | Calculo del nivel de agotamiento permisible.                  | 51        |
| 3.2.3.6                           | Calculo de la evapotranspiración potencial (ETo).             | 51        |
| 3.2.3.7                           | Calculo de la evapotranspiración del cultivo en estudio (ETc) | 53        |
| 3.2.3.8                           | La eficiencia de aplicación del riego.                        | 53        |
| 3.2.3.9                           | El caudal disponible.   | 53        |
| 3.2.3.10                          | Calculo de índices de riego.                                  | 54        |
| 3.2.4                             | Diseño hidráulico.  | 56        |
| 3.2.4.1                           | El sistema hidráulico del sector de Maranniyoc.               | 56        |
| 3.2.4.2                           | Características técnicas de los aspersores en investigación.  | 57        |
| 3.2.5                             | Ejecución de pruebas en el área de aspersión.                 | 61        |
| 3.2.5.1                           | Pruebas de infiltración.                                      | 61        |
| 3.2.6                             | Evaluación del coeficiente de uniformidad,                    | 69        |
| 3.2.7                             | Evaluación de la eficiencia de aplicación.                    | 74        |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> | 77 |
| 4.1 RESULTADOS.                    | 77 |
| 4.1.1 Pruebas de infiltración      | 77 |
| 4.1.2 Coeficiente de uniformidad   | 78 |
| 4.1.3 Eficiencia de aplicación     | 79 |
| 4.2 DISCUSIÓN.                     | 80 |
| <b>V. CONCLUSIONES.</b>            | 83 |
| <b>VI. RECOMENDACIONES.</b>        | 84 |
| <b>VII. RESUMEN.</b>               | 86 |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFIA.</b>         | 87 |
| <b>ANEXOS</b>                      | 91 |

## INDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1: Clasificación de las velocidades de viento                            | 25 |
| Cuadro 2: Determinación de los parámetros de riego                              | 48 |
| Cuadro 3: Valores climatológicos  | 52 |
| Cuadro 4: Valores de la evapotranspiración potencial                            | 52 |
| Cuadro 5: Relación de Obras Civiles   | 57 |
| Cuadro 6: Características – Aspersor VYR 35.                                    | 58 |
| Cuadro 7: Características – Aspersor VYR 37.                                    | 59 |
| Cuadro 8: Características – Aspersor VYR 70                                     | 60 |
| Cuadro 9: Ensayo de infiltración  | 63 |
| Cuadro 10: Calculo de la función de velocidad de infiltración                   | 63 |
| Cuadro 11: Calculo de la función de velocidad de infiltración 2                 | 65 |
| Cuadro 12: Ensayo de infiltración 3   | 67 |
| Cuadro 13: Calculo de la función de velocidad de infiltración 3                 | 67 |
| Cuadro 14: Curva de la velocidad de infiltración prueba 1                       | 68 |
| Cuadro 15: Curva de la velocidad de infiltración prueba 2                       | 69 |
| Cuadro 16: Curva de la velocidad de infiltración prueba 2                       | 69 |
| Cuadro 17: Parámetros CUC y CUD   | 70 |
| Cuadro 18: Uniformidad en los sistemas de riego por aspersión VYR 35            | 71 |
| Cuadro 19: Uniformidad en los sistemas de riego por aspersión VYR 37            | 72 |
| Cuadro 20: Uniformidad en los sistemas de riego por aspersión VYR 70            | 73 |
| Cuadro 21: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión VYR 35 | 74 |
| Cuadro 22: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión VYR 37 | 75 |
| Cuadro 23: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión VYR 70 | 76 |
| Cuadro 24: Resultados de pruebas de infiltración con anillos concéntricos       | 77 |
| Cuadro 25: Parámetros agronómicos y los índices de riego                        | 77 |
| Cuadro 26: Coeficientes de uniformidad en los tres modulos                      | 78 |
| Cuadro 27: Eficiencia de aplicación en los tres modulos                         | 80 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura N° 1: Efecto del viento en la distribución de la lluvia generada por el aspersor | 24 |
| Figura N° 2: Comportamiento del riego frente al viento                                  | 25 |
| Figura N° 3: Mapa de ubicación del trabajo de tesis.                                    | 43 |
| Figura N° 4: Vista panorámica del sector de Maranniyoc.                                 | 44 |
| Figura N° 5: Aspersor VYR 35  | 57 |
| Figura N° 6: Aspersor VYR 37  | 58 |
| Figura N° 7: Aspersor VYR 70.   | 59 |
| Figura N° 8: Esquema de utilización del método de doble anillo                          | 61 |
| Figura N° 9: Coeficiente de uniformidad de Christiansen de aspersores evaluados         | 78 |
| Figura N° 10: Eficiencia de aplicación de aspersores evaluados                          | 79 |
| Figura N° 11: Medición de la parcela para colocación del módulo de aspersión            | 92 |
| Figura N° 12: Delimitación de la parcela en estudio                                     | 92 |
| Figura N° 13: Funcionamiento del aspersor VYR 70  | 93 |
| Figura N° 14: Funcionamiento del aspersor VYR 35  | 93 |
| Figura N° 15: Funcionamiento del aspersor VYR 37  | 94 |
| Figura N° 16: Recojo de la muestra de suelo para pesado en pruebas de infiltración      | 94 |
| Figura N° 17: Realización de las pruebas de eficiencia de los aspersores.               | 95 |
| Figura N° 18: Medición de la presión de salida de agua del aspersor.                    | 95 |
| Figura N° 19: Medición de la pluviometría de los aspersores.                            | 96 |
| Figura N° 20: Funcionamiento de los aspersores para las pruebas de uniformidad          | 96 |
| Hoja : Análisis de suelos   | 97 |
| Figura N° 21: Croquis parcelario  | 98 |

## I. INTRODUCCION.

Durante las décadas recientes la agricultura bajo riego ha sido una fuente de producción de alimentos muy importante. Los mayores rendimientos de los cultivos que pueden obtenerse en regadío son más del doble que los mayores que pueden obtenerse en secano. Incluso la agricultura bajo riego con bajos insumos es más productiva que la agricultura de secano con altos insumos. El control, con bastante precisión, de la absorción del agua por las raíces de las plantas tiene estas ventajas.

Es un aspecto conocido que, todo déficit de agua, producirá una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor. Dichos estados corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta.

El riego por aspersión es un método que consiste en aplicar a la superficie del terreno, rociándola a la manera de una lluvia natural. La aspersión como procedimiento de riego se inició a principios de este siglo pero fue después de la segunda guerra mundial, cuando el número de instalaciones de riego por aspersión aumento considerablemente debido al perfeccionamiento de los aspersores, al poco peso de los tubos de aleación de aluminio y a los equipos de bombeo de mayor rendimiento.

El sector agrícola no es ajeno a esta problemática y por tanto debe hacer frente a la creciente disminución de un recurso limitado como es el agua. La repercusión productiva que el agua tiene sobre las plantaciones es muy importante.

Los proyectos de Irrigación dedicados a la ampliación y mejoramiento de los sistemas de riego tienen como uno de sus objetivos el incremento de la disponibilidad de agua, mejorando para eso, las eficiencias de conducción y distribución (mediante la construcción, ampliación y revestimiento de las obras de infraestructura de riego, tales como obras de captación, revestimiento de canales, obras de arte, etc.), no dándole la

debida importancia a la eficiencia de aplicación en la parcela, que viene a ser un elemento importante para el uso óptimo del agua.

Es por eso que el proyecto “Instalación del sistema de riego tecnificado en el sector de Maranniyoc- Echarati” se viene ejecutando en su fase de infraestructura y mediante la transferencia de responsabilidades para la capacitación y el cambio tecnológico así como brindando servicios de apoyo a la organización, empieza a apoyar a los agricultores, tomando en cuenta los principales problemas que los aquejan como son la erosión de suelos y el uso ineficiente del agua, para incrementar la productividad de sus recursos naturales, siendo uno de ellos el recurso agua.

En el riego por aspersión una correcta uniformidad de aplicación permite una profundidad de humedecimiento uniforme, lo que a su vez implica haber aplicado una misma lámina de agua en toda la superficie del terreno, esto es muy importante porque permite el crecimiento y producción uniforme de los cultivos.

El presente ante proyecto trata de comprender la racionalidad del agricultor para la adopción de técnicas de riego parcelario, mediante la identificación de las motivaciones para la instalación del módulo de riego con el aspersor más adecuado que logre una máxima uniformidad y eficiencia en el riego.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.1.1 Descripción del problema.**

#### **El riego en el mundo.**

Las primeras grandes obras de riego se desarrollaron en Egipto y Mesopotamia, cuando el hombre descubrió algunos alimentos se hizo necesario su establecimiento en un lugar, por lo menos durante el tiempo que demora el desarrollo completo de un cultivo.

Las primeras civilizaciones en la historia de la humanidad se basan todas ellas en la agricultura de riego: Mesopotamia, Egipto, Mohenjo-daro en la India, China, Mesoamérica, el área andina en América del Sur. Las civilizaciones que aparecen después, como los fenicios, la cultura griega y otros, aprovechan los avances tecnológicos y capacidad de compra de las primeras civilizaciones de regadío. De tal manera que la cultura occidental tiene una inmensa deuda con la cultura oriental y con el invento de la agricultura de riego (Childe 1958).

La agricultura de riego es posiblemente el complejo tecnológico que más influencia ha tenido en la historia de la humanidad; es el complejo tecnológico que permitió dar el paso de una cultura de agricultores primitivos a la civilización, es decir a culturas urbanas y a la posibilidad de sostener y conformar grupos de especialistas dedicados a otras innovaciones tecnológicas y a otras temáticas culturales: arquitectura, escultura, pintura, filosofía, literatura y otras muchas cosas incluyendo actos de barbarie humana: tecnológicos y sociales.

En México, allá por la década de 1940, las investigaciones de Gordon Childe (1958, 1964, 1981) y Karl Wittfogel (1966) que tipifican a civilizaciones hidráulicas: agricultura de riego, obras hidráulica a gran escala (gran escala para su época y aun para la nuestra), construcciones monumentales aprovechando la capacidad probada de empresas a gran escala en la obra hidráulica, llevaron a proponer que en el período prehispánico en México y en el área andina podría haber existido este tipo de sociedad; la evidencia inicial sugerente: la existencia de construcciones monumentales tales las pirámides.

La agricultura de riego tiene además otro importante significado, la construcción, aún a pequeña escala, de obra hidráulica, el mantenimiento de la infraestructura hidráulica, la distribución del agua obligan a un esfuerzo colectivo que implica gran cohesión social, donde el individuo necesariamente debe someterse a las decisiones de la colectividad. Es decir decisiones tan sencillas cómo cuándo regar la parcela,

cuándo limpiar el canal son decisiones que no se pueden realizar bajo criterios individualistas; son, por su misma naturaleza técnica, decisiones colectivas.

### **El riego en el Perú.**

La agricultura en el Perú se remonta a más de 5000 años, cuando la cultura Chavín construía sistema de riego simples y redes de canales al norte de Lima.

En los siglos XV y XVI, el imperio inca ostentaba un sistema avanzado de riego, que suministraba agua a 700 000 hectáreas de diversos cultivos en la zona costera fértil.

En el siglo XX represento un periodo de estancamiento agrícola, en especial durante las décadas de los años setenta y ochenta. En los últimos treinta años, el gobierno peruano ha invertido aproximadamente 5000 millones de dólares para mejorar la infraestructura hidráulica, incluidas las presas y los sistema de riego y drenaje, lo que produjo un aumento del territorio bajo riego.

Los terratenientes en la época de los hacendados gozaron del sistema de riego que fueron aprovechados por los gamonales sin que los hermanos campesinos tengan este privilegio.

Algunos agricultores practican en forma empírica el riego por aspersión, solo cuando el agua que llega a sus chacras tiene una marcada pendiente.

Las limitaciones de agua para el regadío, en los valles de La Convención, alcanzan dimensiones preocupantes y suponen una amenaza seria para la producción de cultivos tradicionales y de movimiento de personas que optan por otras actividades. Esta situación ha generado un interés y preocupación creciente por el ahorro de agua, en especial en la agricultura de regadío, la racionalización en el uso del agua debe ser un objetivo prioritario de los gobiernos locales.

La falta de agua es el principal problema en la agricultura ya que la precipitación pluvial es de irregular distribución durante el año, el cual incide directamente en el decremento de la producción agropecuaria, especialmente en la producción de los cultivos tradicionales como café, cacao, cítricos, papaya, plátano, etc.; que constituye la base principal del ingreso de la familia y la alimentación consiguientemente.

### **El riego Echarati.**

En el distrito de Echarati se trabaja en lo relacionado al riego empírico desde hace pocos años atrás, y en forma tecnológica cuando, la Municipalidad Distrital de Echarati, en respuesta a la latente problemática del agro en el distrito, el 03 de marzo del año 2008 se crea el Área Formuladora del Programa de Riego del Distrito (AFPRD), luego Unidad de Recursos Hídricos y Ambientales (URHA), por tanto ha incluido dentro de su estructura orgánica la creación del Área de Gestión de Recursos Hídricos, conformada por profesionales con amplia experiencia en la formulación de proyectos de Riego en la sierra y ceja de selva.

El 2012 se crea la División de Infraestructura Agrícola de la Gerencia de Desarrollo Económico quién va impulsando agresivamente el desarrollo Agropecuario del Distrito, teniendo en cartera varios proyectos productivos aprobados, en ejecución, los cuales no tendrían un alcance significativo si no están complementados mediante la dotación del agua (proyectos de riego) como es el caso del Perfil de Proyecto “Instalación del Sistema de Riego por aspersión en el sector de Maranniyoc”.

Las diferentes zonales o unidades de gestión desconcentradas en Echarati viene ejecutando en los últimos años diversas obras entre ellas los proyectos de riego en Siete Tinajas, Terebinto, Piedra Blanca, Rosario Mayo y Aputinya todos estos ubicados en la Zonal de Echarati, sin embargo también se realizan estos proyectos para las demás zonales.

Actualmente la División de Infraestructura Agrícola (DIA) dentro de la Gerencia de Desarrollo Económico (GDE) de la MDE, cuenta con los servicios del personal profesional especializado en materia de riego, los cuales de manera inmediata proceden a efectuar la identificación de proyectos de riego en todo el ámbito del distrito, bajo el enfoque de cuenca como unidad de trabajo y fundamentalmente tomando en cuenta la sostenibilidad hídrica del proyecto, esto quiere decir que las fuentes hídricas deberán ofertar caudales de tal manera que garanticen el uso del agua por un espacio mayor a 20 años, este trabajo también ha permitido confirmar la situación actual de la agricultura en el ámbito del distrito, por lo que el equipo de trabajo propone la implementación del PROGRAMA DE RIEGO DEL DISTRITO, documento que servirá para tener una idea clara de lo que se pretende hacer, la visión y misión del programa, los objetivos y las metas que se persiguen y fundamentalmente servirá de instrumento de planificación para lograr el desarrollo de la agricultura en el ámbito del distrito.

#### **1.1.2 Identificación del problema.**

Existe un desconocimiento por parte de los agricultores del sector de Maranniyoc – Echarati sobre la eficiencia y uniformidad de distribución del agua con riego por aspersión, que cumple una función importante en el uso eficiente del recurso hídrico, así como la importancia económica y los parámetros que permiten evaluar el sistema de riego presurizado.

En la evaluación del método de aplicación del agua de riego por aspersión, se determinará el módulo de riego más eficiente para el cultivo en estudio.

#### **1.1.3 Formulación del problema.**

¿Cómo es la uniformidad y eficiencia de riego de tres módulos de riego por aspersión en el cultivo del cacao, en el sector de Maranniyoc – Echarati?

## **1.2 OBJETIVOS.**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Evaluar la uniformidad y eficiencia de riego de tres módulos de riego por aspersión en el cultivo del cacao, en el sector de Maranniyoc- Echarati.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Calcular los índices de uniformidad de distribución del agua en tres módulos de riego por aspersión.
- Identificar los parámetros en la eficiencia de aplicación de riego por aspersión para determinar el módulo de riego más eficaz.
- Medir el volumen de agua por unidad de área y tiempo que garantice la saturación del volumen de la rizosfera en una planta.
- Determinar el volumen de mojadura de la rizosfera en el cultivo en estudio.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

Es importante evaluar la uniformidad de distribución de agua y la eficiencia del riego parcelario utilizando los módulos de riego y en diferentes tipos de aspersores, para que de esta manera el agricultor optimice el sistema de riego en su parcela y en general en el sector de Maranniyoc.

Así mismo al conocer los índices técnicos de riego como la capacidad de campo, lámina neta y lámina bruta, frecuencia de riego, número de riego por mes y tiempo de riego, el agricultor aplicará la cantidad del recurso hídrico necesario evitando su desperdicio e incrementando la producción agrícola.

La información obtenida en este estudio, cuantificará la eficacia de riego en la parcela, además nos da el punto de partida, obteniendo resultados que serán indicadores de futuras intervenciones o ejecuciones de planes de trabajo en distribución o planes de riego en parcela y en algunos casos identificar problemas que determinen a una intervención más inmediata. En la actualidad los proyectos de

irrigación en La Provincia tienen el componente de capacitación en gestión del sistema de riego, para que los mismos no colapsen en el tiempo y los beneficiarios solucionen cualquier problema que se presentara en el uso del riego parcelario, por eso es importante nuestro trabajo de investigación puesto que los módulos de riego por aspersión siempre presentarán problemas y el agricultor estará preparado para su manipulación y la elección del módulo correcto para regar con eficiencia su parcela.

Cuando el objetivo es optimizar la producción, se elige proveer la totalidad del agua faltante, durante todo el período de un cultivo, es decir el suelo dispone de agua útil en forma permanente. La estrategia de regar en los momentos críticos del cultivo es la alternativa mayormente aceptada: floración y llenado de grano son estados fisiológicos de la planta donde, la falta de agua da como resultado sensibles pérdidas de rendimiento.

La provincia de La Convención no se encuentra dentro del margen del problema de escasos recursos hídricos para riego. Cuenta con áreas de riego considerable para aprovechar en diferentes cultivos, por falta de una buena captación el agua no es aprovechada, influyendo negativamente en la población disminuyendo el nivel de vida en decremento de sus ingresos económicos.

Maranniyoc se caracteriza por que dentro de su fisiografía presenta una morfología joven, agreste y con relieves agudos (cerros empinados) como consecuencia del último levantamiento de los Andes, el cual originó la reactivación de los procesos erosivos y geodinámicos que han definido el relieve actual (laderas y quebradas). Asimismo; el área del proyecto presenta un relieve ondulado con pendientes que varían de 5 a más del 50 %.

Con respecto a la zona de vida en que se ubica el proyecto tenemos que de acuerdo al mapa ecológico las áreas del proyecto se clasifican en bosque seco Sub tropical (bs-ST) se caracteriza: En la parte alta se observa una densa cobertura vegetal constituida por especies forestales, arbustos, y pastos naturales, la parte media escarpada con

rasgos de erosión leve y fuerte deforestación y la parte baja con concentración de áreas con cultivos perennes y anuales.

Las zonas de mayor exposición a las hora de sol son las consideras “secanos” y necesitan del recurso hídrico para que prosperen los cultivos que destacan en la zona como es el café y principalmente el cacao.

Dentro del sistema de riego siete tinajas, por cuestiones de diseño, no han sido consideradas el sector de Maranniyoc en el área de influencia del proyecto, por hallarse ubicada por encima de la plataforma de la línea de conducción de este sistema de riego.

#### **1.4 HIPÓTESIS.**

La aplicación del riego por aspersión utilizando el módulo de riego nos permitirá determinar una buena uniformidad en distribución de agua y eficiencia de riego por aspersión en el cultivo del cacao en el sector de Maranniyoc – Echarati.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 ANTECEDENTES.

Antes de la ejecución de proyectos con instalación de infraestructura de riego tanto por los gobiernos locales como por el Plan Meriss, el principal problema que afrontaban los agricultores era la escasa disponibilidad hídrica, debido a la infraestructura rústica y al uso de técnicas tradicionales para el riego parcelario; factores que ocasionaban conflictos entre los usuarios.

En el Distrito de Echarati, los agricultores organizados solicitaron inversión en proyectos de riego como alternativa a problemática del agro por lo tanto la Municipalidad incluyó en su estructura orgánica a partir del año 2008 el Área de Gestión de Recursos Hídricos, para formular proyectos de Riego.

Posteriormente el 2012 se crea la División de Infraestructura Agrícola de la Gerencia de Desarrollo Económico con el único objetivo de formular proyectos de riego para las diferentes zonales y de esta manera impulsar el desarrollo de la agricultura y por ende la calidad de vida de los pobladores.

Es así que en el transcurso del tiempo las diferentes zonales o unidades de gestión desconcentradas del distrito han ido ejecutando en los últimos años diversas obras entre ellas irrigaciones de gran magnitud como es el caso del Proyecto Siete Tinajas, Terebinto, Piedra Blanca, Rosario Mayo y Aputinya ubicado en la Zonal de Echarati.

La aplicación de esta tecnología de riego por aspersión es reciente, así se tiene principales proyectos:

En Mandor con FONCODES el 2006, el Riego en Aguilayoc, el proyecto de riego en Sifón para la Calzada, Pispita, Papelpata, etc.

Se realizaron trabajos de investigación que se plasmaron en tesis entre los que se tiene:

- ✓ Evaluación de la Uniformidad de Aplicación de Riego en Cinco Modelos de Aspersores en el Cultivo de Naranja (*Citrus sinensis* L.) Proyecto Pampa Concepción. Realizado por el Bachiller Sergio Rober Cárdenas Anaya.
- ✓ Evaluación de la Eficiencia de Riego Parcelario en Cultivos Perennes en Echarati-LC – Cusco, Realizado por el Bachiller Arnulfo Huamán Delgado
- ✓ Determinación del Coeficiente de Uniformidad del Sistema de Riego por Aspersión en el Cultivo del Naranja, Realizado por la Bachiller Fany Olarte

## **2.2 RIEGO.**

Valverde (2007) afirma que se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes. Sin embargo debe notarse que no necesariamente debe constar de todas ellas, el conjunto de componentes dependerá si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo.

Moya (2002) afirma que una manera moderna de regar, es la utilización de los métodos de riego por goteo y micro aspersión (riego localizado), que consiste en la aplicación del agua al suelo en forma localizada, es decir, sólo se moja una zona restringida del volumen radicular. Estos métodos son apropiados para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control de la aplicación del agua y algunos otros beneficios agronómicos.

Durango (2001) indica que el riego es una de las labores agronómicas de gran importancia que permite conseguir potencialmente el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. El riego se puede definir como la

aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

En un sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- ✓ Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- ✓ Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración
- ✓ Refrescar la temperatura del suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- ✓ Disolver sales contenidas en el suelo.
- ✓ Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- ✓ Dar las características óptimas de humedad de suelo.

Montero (2000) mencionó que el objetivo del riego consiste en aplicar el agua uniformemente sobre el área deseada y dejarla a disposición del cultivo. Los sistemas de riego por aspersión deben diseñarse para aplicar el agua a un ritmo inferior a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía.

Losada (2000) indica que el riego consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan favoreciendo así su crecimiento. Se utiliza en la agricultura y en jardinería. Los sistemas de riego que existen en los cultivos son:

- Riego con aspersores
- Riego con difusores
- Riego por goteo
- Riego subterráneo
- Riego con cintas de exudación
- Riego con micro aspersores
- Riego con manguera
- Macetas de auto- riego

- Riego por surcos (por ejemplo, el huerto)
- Riego a manta (por ejemplo, inundando)

Calderón, (1999), menciona que el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

Calderón, (1999), menciona que es un sistema de riego, es un conjunto en el que interactúan diferentes componentes técnicos, sociales y económico-productivos. La infraestructura para la captación, conducción y aplicación del agua al cultivo es el componente técnico.

La organización y administración para la distribución del agua, el registro de usuarios, el mantenimiento de la infraestructura y la solución de conflictos constituyen el componente social. La producción agrícola y/o pecuaria realizada en el área con riego, su rentabilidad y sostenibilidad son los componentes económicos-productivos.

### **2.2.1 Dosis de riego.**

Castañón (2000) indica que se debe determinar un valor mínimo de la cantidad de agua en el suelo que no produzca disminución apreciable en la producción. Cuando se alcance dicho valor será necesario regar. La extracción del agua depende principalmente del cultivo, la cantidad de agua en el suelo, de las condiciones atmosféricas y de la adaptación del cultivo a estas condiciones.

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por unidad de superficie. Se puede expresar como lámina o altura que hay que aplicar, generalmente en mm de agua o como volumen en  $m^3/ha$  y  $l/m^2$ . Una lámina de riego de 1 mm de altura corresponde a  $10 m^3/ha$  y un litro por metro cuadrado ( $l/m^2$ ). Dicha dosis de riego depende de las condiciones hidrofísicas del terreno y de la profundidad de las raíces del cultivo. La dosis máxima que se puede aportar, apurando al máximo el contenido de agua útil para las plantas.

### **2.2.2 Riego por aspersión.**

Delgado (1997), indica que se denomina riego por aspersión al método que consiste en aplicar agua a la superficie del terreno rociándola a la manera de una lluvia ordinaria.

Tarjuelo (1999) menciona que las ventajas del riego por aspersión se derivan principalmente de dos aspectos fundamentales:

El control de riego sólo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas 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.

Una enumeración de las principales ventajas puede ser:

- La dosis de riego únicamente es función del tiempo de cada postura, puede adaptarse tanto a dosis grandes como a dosis pequeñas.
- Al poder modificar fácilmente la pluviometría es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30 mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas. Esto permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- En el interior de las parcelas no necesita, en general, ningún tipo de sistematización, lo que permite una buena mecanización. Únicamente en el caso de sistemas con tuberías en superficie durante la campaña de riegos dificultaría esta mecanización.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de estrés. En el primer caso con la condición de que el dimensionamiento se realice para el cultivo más exigente, ya que la cantidad de agua a aplicar sólo es función del tiempo por postura una vez dimensionada la instalación. Dada la eventualidad de los riegos de estrés, los sistemas que mejor se adaptan serán los móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de acción, como los cañones de riego).

### **Coefficiente de uniformidad de riego por aspersión.**

Olarte (2003), afirma que el cálculo de la uniformidad de aplicación, se estima utilizando la ecuación de Christiansen:

$$C_u = 100 \left[ 1 - \frac{\sum x}{\sum m \times n} \right]$$

Dónde:

$C_u$  = Uniformidad de aplicación de Christiansen.

$x$  = Desviación estándar de las observaciones.

$m$  = Media de todas las observaciones o lecturas ( $\text{cm}^3$ ).

$n$  = Número de observaciones o lecturas.

Olarte (2003), menciona que en la práctica no es posible conseguir una absoluta uniformidad de aplicación (100%) pues muchos factores tales como la topografía del suelo, los vientos, etc, no permiten alcanzar esta uniformidad.

Tarjuelo, (1999) indica que es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistema de riego por aspersión.

#### **2.2.2.1 Eficiencia de aplicación.**

Jiménez (2003) indica que la eficiencia es la aplicación del agua al área cultivada dependiendo del método de riego, la eficiencia de aplicación, en este sistema puede presentar pequeñas o grandes pérdidas por percolación profunda, escorrentía e incluso por evaporación. Se define como la relación expresada en porcentaje entre volumen de agua aplicada por el riego que es útil a la planta o el volumen de agua almacenada en la zona de raíces entre el volumen total aplicado.

Gurovich, R. (1999), menciona que la lámina de entrada corresponde a la cantidad de agua que entra al sector de riego durante el tiempo que dura esta práctica.

Delgado (1997), indica que es la relación entre el agua que realmente queda almacenada en la zona de raíces del cultivo (y por lo tanto puede ser aprovechada por ellas) y el agua total aplicada con el riego.

Olarte, W. (1987), indica que la eficiencia de aplicación es la relación que existe entre el agua almacenada en la zona radicular y el agua ingresada a la parcela.

#### **2.2.2.2 De las pérdidas de agua.**

Lujan (1992), indica que en aspersión las pérdidas de agua de riego se producen por evaporación y percolación, siendo normalmente irrelevante la escorrentía. Las pérdidas por evaporación dependen de diversos parámetros (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y diámetro de las gotas).

Lujan (1992), indica que las pérdidas por percolación se producen porque los equipos de aspersión no aplican con total uniformidad. Así cuando una determinada dosis neta ha sido aplicada al terreno, una parte de la superficie regada recibe agua en exceso, dando lugar a pérdidas por percolación por debajo de la parte principal del sistema radicular, mientras otra parte recibe menos agua de la que debería.

Lujan (1992), indica que otras pérdidas que se producen en aspersión son debidas a las fugas en las conducciones parcelarias (juntas y conexiones), y también, en determinados casos, a la escorrentía que puede ser debida a una inadecuada selección del equipo e incluso a efectos del viento.

#### **2.2.3 Determinación de los índices técnicos de riego.**

Delgado (1997), afirma que para determinar los índices técnicos de riego con fines de diseño y dimensionamiento de los sistemas de riego, se calcula los siguientes parámetros.

### 2.2.3.1 Láminas de riego.

Vargas (1997), menciona que es llamado también dosis de riego, volumen de riego, tasa de riego o simplemente la cantidad de agua aplicada al suelo en cada riego, está indicado en m<sup>3</sup>/ha o en mm de altura de agua aplicada.

#### a. Lámina neta de riego (Ln).

Es la lámina neta de agua que se va aplicar en cada riego, para satisfacer la demanda de agua de los cultivos durante la frecuencia de riego. Se expresa mediante la siguiente formula:

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * Pr * 10000 * n$$

Dónde:

Ln = Lámina neta de riego en mm.

CC = Capacidad de campo en %.

PMP = Punto de Marchitez Permanente.

Da = Densidad aparente.

Pr = Profundidad de humedecimiento en base a la profundidad radicular estimado de acuerdo al desarrollo de la planta en mm.

n = Descenso tolerable de Humedad del Cultivo.

#### b. Lámina bruta de riego (Lb).

La lámina bruta se refiere al volumen total que necesita el sistema de riego por aspersion considerando las pérdidas.

$$Lb = \frac{Ln}{Ef}$$

Dónde:

Ln = Lámina neta de riego.

Ef = Eficiencia de Aplicación.

**c. Intervalo o frecuencia de riego (Fr).**

Es el intervalo de tiempo que transcurre entre dos riegos sucesivos es decir es el tiempo en que será consumida una lámina de riego aplicada, expresado en días.

$$Fr = \frac{Ln}{Cd}$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego (días).

Ln = Lámina neta (mm).

Cd = Consumo diario (mm/día) y se obtiene de:

$$Cd = \frac{ETP}{N^{\circ}días}$$

Dónde:

ETP = Evapotranspiración máxima mm/mes

**d. Tiempo de riego (Tr).**

Es el período de tiempo necesario para aplicar una lámina de agua al suelo, se calcula en base a la lámina bruta y la descarga del aspersor (1 aspersor) en mm/h.

$$T = \frac{Lb}{Iasp.}$$

Dónde:

T = Tiempo de riego (H).

Lb = Lámina bruta (mm).

I asp. = Pluviometría del aspersor (mm/h).

**e. Presión.**

Vitorino(1998), indica que cada aspersor funciona en forma eficiente en un entorno de presiones de trabajo recomendadas. En este entorno, la distribución es mejor y el aspersor trabaja con una alta eficiencia y desgaste mínimo.

García (1997), afirma que las condiciones topográficas tienen un efecto significativo en la presión a cada punto en el sistema y algunas condiciones (pendiente pronunciada) pueden hacer que el chorro que arroja el aspersor sea una fuente de serios problemas de erosión.

### **2.2.3.2 Condiciones edafoclimáticas.**

#### **a. Textura.**

Vásquez; Chang-Navarro (1988), mencionan que es la conformación granulométrica o composición mecánica del suelo e indica la proporción que existe entre las diferentes fracciones granulométricas como: arena, limo y arcilla. Para determinar la clase textural de los suelos, se realizan análisis mecánicos en laboratorio y los resultados se interpretan a través del “triángulo de textura”.

#### **b. Estructura.**

Calderón (1999), indica que es la modalidad de agrupación de las partículas del suelo, en unidades llamadas agregados, por acción de la arcilla, materia orgánica y algunos cementantes inorgánicos (óxido de Fe, Al). El tipo de estructura determina la formación de las cavidades y grietas que permite la aireación del movimiento del agua de riego y penetración de las raíces.

#### **c. Densidad aparente (Da).**

Vásquez; Chang-Navarro (1988), mencionan que es la relación que existe entre el peso de suelo seco o peso de sólido ( $P_s$ ) y el volumen total ( $V_t$ ) de una muestra de suelo no disturbada, cuyos valores se expresan generalmente en  $g/cm^3$ ,  $tn/m^3$ ,  $kg/dm^3$

Vicente Pons (2001) indica que la densidad aparente es la relación que existe entre la masa del sólido y el volumen total ocupado por el sólido y por el espacio poroso.

La masa del sólido se determina pesando la muestra a  $105^\circ C$ , y el volumen total se deduce del cilindro utilizado para la toma de muestra.

#### **d. Saturación (S).**

Olarte (2003), señala que un suelo se encuentra en estado de saturación cuando el agua ocupa todos los espacios vacíos del suelo (macro y micros poros), es decir el agua ha desplazado todo el aire; cuando se llega a este estado se dice que el suelo está a 100% de contenido de humedad; este estado se presenta en un suelo agrícola inmediatamente después de un riego pesado.

En este momento, los excesos de agua se van drenando por gravedad dando lugar a la percolación, prácticamente el potencial de agua en el suelo llega a 0 atmósferas y no puede ser retenida por el suelo; a este tipo de agua se le llama agua gravitacional, superflua o agua libre.

Castro (2012), menciona que el suelo está saturado cuando contiene únicamente dos fases la sólida y la líquida y por qué los espacios vacíos están ocupados por agua que provienen de las lluvias, nieve, granizo, humedad atmosférica, etc. Un claro ejemplo de este son los suelos yacientes que están bajo el nivel freático pues son suelos totalmente saturados.

#### **e. Capacidad de campo (CC).**

Vásquez; Chang-Navarro (1988), mencionan que es la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que alcanza según la textura del suelo entre 24 y 72 horas después de un riego pesado.

Olarte, W. (2003), indica que la capacidad de campo, llamado también fieldcapacity, témpero, etc. Se dice que un suelo se encuentra a capacidad de campo, cuando el suelo retiene la máxima cantidad de agua que le permita sus micro poros y cuando se ha recompuesto el aire en los macro poros.

Es decir, después que ha cesado el drenaje libre de agua. De esta manera, se puede afirmar que la capacidad de campo se constituye en el estado más favorable de humedad para el crecimiento de las plantas y adonde debe llegarse con el riego.

**f. Punto de marchitez permanente (PMP).**

Vásquez; Chang-Navarro (1988), mencionan que es el punto en el cual la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación debido a un flujo retardado de agua del suelo hacia la planta y que en promedio corresponde a un estado energético de 15 bares.

Olarte, W. (2003), afirma que un suelo se encuentra en el punto de marchitez permanente cuando retiene una mínima cantidad de agua, pero ya no puede ser aprovechada por las raíces, lo cual ocasiona un marchitamiento irreversible de las hojas y consecuentemente la muerte de la planta.

**g. Humedad disponible.**

Olarte, W. (2003), asevera que la humedad disponible para la planta es el agua que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Tarjuelo, (1999), indica que la humedad disponible es el intervalo comprendido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. No toda esta humedad es igualmente accesible a las plantas de aquí para la programación de los riegos se debe agotar únicamente una porción del intervalo de humedad disponible denominado déficit permisible de manejo.

**h. Déficit hídrico.**

Vásquez, Chang-Navarro, (1988), señalan que el déficit hídrico en las plantas se produce cuando la transpiración de agua supera a la absorción, pero en realidad el déficit se produce siempre que hay movimiento ascendente del agua, aunque los caudales transpirados sean iguales a lo absorbido.

Los déficit hídricos afectan a todos los procesos vitales de las plantas y al final su efecto es de retrasar y alterar el crecimiento y disminuir la producción. Todos los cultivos tienen un período crítico en el que los efectos del déficit hídrico son más

pronunciados; en general el período crítico se presenta en la floración, el cuajado y los primeros estados del crecimiento de los frutos.

**i. Evapotranspiración potencial (ETP).**

Calderón (1999), indica que es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto, que cubre toda la superficie, en estado activo de crecimiento, con suministro adecuado y continuo de agua.

Olarte, W. (2003), menciona que es la cantidad de agua consumida por un cultivo denso y corto, durante un intervalo de tiempo y en un suelo que presenta las condiciones más óptimas de humedad. Es decir, con suministro permanente de agua.

**j. Evapotranspiración real (ETR).**

Calderón (1999), señala que es la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo, crece en un campo extenso (1 o más has.) en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua, se llama también uso consuntivo.

Olarte, W. (2003), menciona que es la cantidad de agua consumida por un cultivo cualquiera, durante un intervalo de tiempo, en un suelo que presenta las condiciones específicas reales de espaciamiento de cada cultivo y suministro variado de agua.

La evapotranspiración real significa que cada especie y variedad cultivada, tiene condiciones diferentes de cultivo y por tanto de consumo de agua.

**k. Coeficiente único de cultivo (Kc).**

Calderón, L. (1999), indica que es llamado también coeficiente del cultivo, es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo, del cual se quiere evaluar su consumo de agua.

Olarte, W. (2003), menciona que el valor del coeficiente del cultivo depende de las características propias y específicas de la planta y expresa la variación de la capacidad para extraer el agua del suelo durante el periodo vegetativo.

Esta variación es más evidente en cultivos estacionales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo.

#### **l. Precipitación efectiva (PE).**

Calderón, L. (1999), señala, que es el volumen de agua parcial y útil para las plantas, para satisfacer sus necesidades hídricas, en su normal desarrollo, del total de volumen de agua o lluvia suministrada. La probabilidad de ocurrencia de la lluvia que se adopte, dependerá del valor económico del cultivo, considerándose en general un valor del 75 % de probabilidad de ocurrencia como el más adecuado.

Sánchez, (2005), indica que cuando hablamos de las precipitaciones nos referimos a una cantidad de agua que cae en una zona determinada, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío. Conocer este concepto para saber cuánta agua será necesaria en un clima lluvioso o seco es fundamental antes de instalar un sistema de riego adecuado para nuestro cultivo.

#### **m. Viento.**

Vargas (1997), indica que el viento es el aire en movimiento. Este es un factor muy importante porque tiende a distorsionar el diámetro del riego por aspersión y porque influye en los siguientes procesos hidrometeorológicos:

- Transporte del calor y de la humedad.
- Evaporación y transpiración.
- Alimentación de las precipitaciones.

Calderón (1999), afirma que incide en la eficiencia de aplicación de riego por aspersión, afectando la uniformidad de riego y desviando la descarga del aspersor, fuera del área de riego.

Tarjuelo (1999), indica que el viento, que es el aire en movimiento es un factor que juega un papel fundamental en las “pérdidas por evaporación y arrastre” producidas

durante el proceso de aplicación y donde el tamaño de gota y la longitud de su trayectoria de caída (distorsión de la uniformidad de riego) son factores fundamentales.

### Efecto del viento en el riego por aspersión

El viento es uno de los peores enemigos del riego por aspersión, influye de forma determinante, en el reparto y uniformidad del agua lanzada por el aspersor.

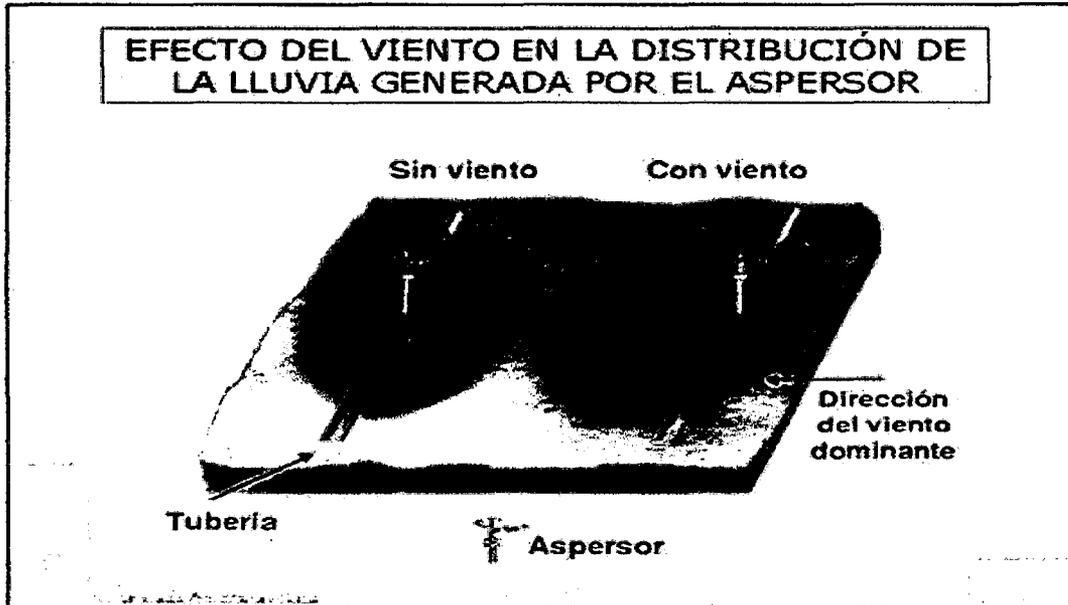


Figura N° 1: Efecto del viento en la distribución de la lluvia generada por el aspersor. Este problema se agrava con la velocidad y dirección del viento.

De una forma gráfica vemos el comportamiento del riego frente al viento.

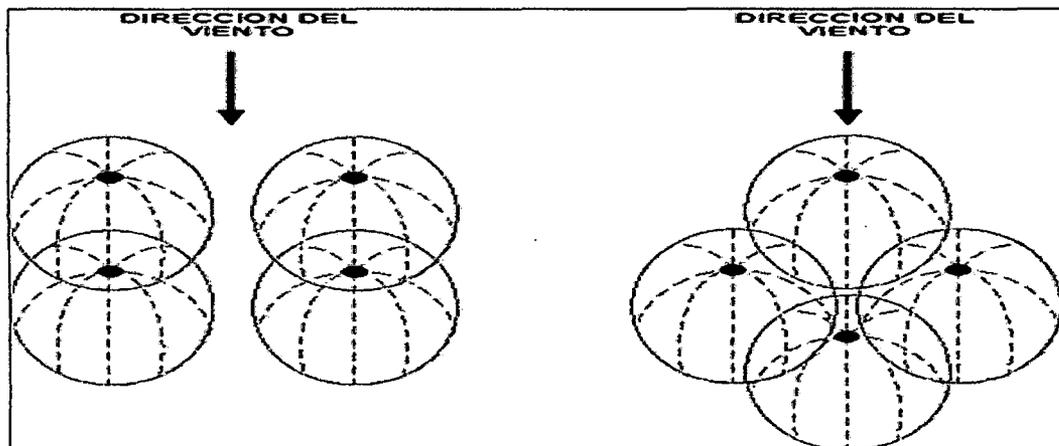


Figura N° 2: Comportamiento del riego frente al viento.

Vemos que el replanteo en cuadrado no es el más indicado para combatir la acción del viento. Obsérvese la zona intermedia del replanteo, la cual queda fuera del alcance y acción del agua. El replanteo en triángulo sería el más indicado, siempre que se pueda, para combatir la acción del viento. Obsérvese la zona intermedia del replanteo la cual queda cubierta por los aspersores centrales. Se recomienda por tanto el replanteo en triángulo.

#### Recomendaciones:

- Para vientos de hasta 8 km/h el espaciamiento puede ser:  
55% del diámetro de los aspersores y 50 % del diámetro para difusores.
- Para vientos que excedan de esa velocidad, se recomienda disminuir el espaciamiento un 2% por cada 1,5 km/h de aumento de velocidad del viento.

Como norma se distribuirán siempre en triángulo, a fin de obtener una buena distribución del agua, salvo en aquellos casos que no sea posible.

#### Medidas para combatir los efectos del viento

1. Replanteo en triángulo.
2. No regar con vientos superiores a 20 km/h.
3. Disminuir los espaciamientos.
4. Diseñar con aspersores de menor alcance.
5. Regar de noche o de madrugada.
6. Regar en pequeños ciclos repetidos.

Cuadro 1: Clasificación de las velocidades de viento.

| <b>VELOCIDADES DE VIENTO m / s</b> | <b>CALIFICACIÓN</b> |
|------------------------------------|---------------------|
| 0.0 – 1.0 m/s.                     | Viento normal       |
| 1.0 - 2.5 m/s.                     | Viento medio        |
| 2.5 – 4.0 m/s.                     | Viento fuerte       |
| Mayores de 4.0 m/s.                | Viento muy fuerte   |

Fuente: Manual de Riego por Aspersión en los Andes. (1996)

#### **2.2.4 Ventajas y desventajas del riego por aspersión.**

González(2007), indica que el riego por aspersión es una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo que infiltre en el mismo punto donde cae. Para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores).

Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a topografías ligeramente accidentadas, tanto con las tradicionales redes de tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia de uso bastante aceptable.

Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está bastante condicionada a las condiciones climáticas que se produzcan, en particular al viento y a la aridez del clima, ya que si las gotas generadas son muy pequeñas, las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación, sin embargo cuando son muy gruesas pueden dañar al cultivo y al suelo.

Son especialmente útiles para aplicar riegos relativamente ligeros con los que se pretende aportar algo de humedad al suelo en el periodo de sequía. También es muy indicado para efectuar el lavado de sales cuando sea necesario y se prestan a la aplicación de determinados productos fitosanitarios o abonos disueltos en el agua de riego, aunque no se puede considerar que sea una aplicación habitual.

Goyal (2007) menciona que el riego por aspersión se adapta particularmente bien a la condición en que la capa freática es alta, puesto que el regante puede hacer la aplicación con el volumen de agua que se determine. En el caso del riego por aspersión se usa menos agua que en el riego por inundación.

Gassi (1996) menciona que mediante el riego por aspersión, el agua se aplica al suelo asperjada, o sea, fraccionando el caudal en innumerable cantidad de gotas que se infiltran en el terreno al tiempo que alcanza la superficie del mismo.

Se trata de un sistema de riego mecanizado, que asegura un preciso control de la lámina de agua aplicada y ajuste a las condiciones edafoclimáticas y de cultivo y además permite una adecuada tecnificación de la práctica del riego.

Condiciones que favorecen la instalación del método:

El riego por aspersión se emplea en una gran diversidad de cultivos y condiciones naturales; y en determinados casos compite incluso con ventaja con el riego por superficie, en las condiciones que hacen aconsejable este método.

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

De forma general se puede decir que presenta las siguientes ventajas:

- a) La distribución del agua del terreno es bastante uniforme.
- b) Puede ser utilizado en suelos con grandes velocidades de infiltración.
- c) Uso adecuado en terrenos con grandes pendientes.
- d) Alta eficiencia de aplicación (lo cual lo hace adecuado en regiones con limitaciones de agua).
- e) Se puede operar en horas de la noche.
- f) Los sistemas pueden ser instalados con mayor rapidez.
- g) Permite aplicar normas de riego pequeñas y con gran frecuencia.
- h) Permite la automatización y mecanización del sistema de riego.
- i) Se puede aplicar el fertilizante junto con el agua de riego (fertirrigación).
- j) Permite regar casi todos los cultivos, salvo algunos muy delicados a los que el tamaño de la gota puede causar daño.
- k) No erosiona el terreno ni destruye la estructura del suelo.
- l) Enriquecen el agua con oxígeno, que es muy importante para la planta.

#### **2.2.4.2 Principales inconvenientes del riego por aspersión.**

Los principales inconvenientes del riego por aspersión son:

- a) Requiere de alto consumo de energía comparado con el resto de los métodos de riego.
- b) Elevado costo de instalación respecto al riego por gravedad, debido a la necesidad de disponer salvo raras excepciones en que exista una presión suficiente de agua.
- c) Mayores costos de funcionamiento respecto a otros métodos, ya que necesita una presión de trabajo a la salida del aspersor como mínimo del orden de 20 m.c.a.
- d) Disminución de la eficiencia de aplicación en parcela cuando existe viento con velocidad superior a los 2,5 m/s.

#### **2.2.5 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.**

Tarjuelo M.J. (1999) menciona que los sistemas de riego por aspersión se pueden clasificar en dos grupos:

1. Sistemas estacionarios que permanecen en la misma posición mientras dura el riego y pueden ser:
  - Sistemas Móviles (portátil)
  - Sistemas Semifijos
  - Sistemas Fijos.
2. Sistemas mecanizados que se desplazan mientras aplican el agua de riego y pueden ser:
  - Cañones de riego.
  - Lateral de avance frontal.
  - Pivotes

##### **a. Sistema móvil.**

Es un sistema de riego por aspersión englobado dentro de la clasificación de estacionario. En este caso, todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede ser el grupo de bombeo. Los ramales de riego suelen ser de aluminio o de PVC y se instalan sobre la superficie del terreno. Cuando acaba el riego de una postura, los

ramales con los aspersores se trasladan a la siguiente posición, requiriendo por ello una gran cantidad de mano de obra para el riego.

Estos equipos suelen ser instalados para aplicar riego eventuales o como soluciones de emergencia. Se compone de un grupo motobomba móvil (puede ser accionado desde la toma de fuerza del tractor) que envía el agua a una tubería en la que están colocados los aspersores. A veces, se acoplan a la tubería unas mangueras al final de las cuales se encuentran los aspersores sobre patines. De esta forma, los aspersores pueden ocupar diversas posiciones de riego antes de que sea necesario mover la tubería. Este sistema suele utilizarse en parcelas pequeñas o para aplicar riegos complementarios.

**b. Sistema semifijo.**

En este sistema son fijos el grupo de bombeo y la red de tuberías principales, que normalmente se encuentra enterrada. Esta tubería principal suele ser de PVC o fibrocemento, de ella derivan los hidrantes en donde se conectan los ramales de distribución (fijos o móviles), a los que se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales móviles deben ser fácilmente transportables por lo que suelen ser de materiales ligeros y que soporten bien el estar a la intemperie (aluminio, polietileno). A los ramales se acoplan los aspersores bien directamente, bien a través de unas mangueras.

**c. Sistema fijo.**

Todos los elementos de este sistema son fijos (bombeo, red de riego y emisores), salvo en algunos casos donde los aspersores son desmontables y van ocupando sucesivas posiciones a lo largo de los ramales de riego. La red de riego puede instalarse únicamente para la campaña o ser permanente. Dentro de los sistemas fijos se pueden distinguir dos tipos, los sistemas aéreos y los enterrados.

Los sistemas fijos aéreos constan de una red de tuberías principales enterradas y unos ramales de riego que se encuentran sobre el terreno. Estos ramales pueden ser trasladados a otras parcelas o a otra zona de la misma en función de la rotación de cultivos existente en la explotación.

Los sistemas fijos enterrados se denominan comúnmente cobertura total enterrada y tienen toda la red de riego bajo la superficie del terreno. En este caso, el diseño del marco de riego más adecuado tiene mucha importancia, ya que no podrá ser modificado fácilmente.

#### **d. Cañones de riego.**

El cañón motorizado de riego consta de un aspersor de gran alcance y caudal (cañón) montado sobre un carro o patín y conectado al suministro de agua mediante una manguera. Este sistema de riego utiliza aspersores rotativos de gran tamaño, que funcionan con una elevada presión y forman gotas bastante grandes. Son adecuados para dar riegos de apoyo a cultivos con bajas necesidades de riego y es bastante utilizado para praderas de zonas semi-húmedas.

#### **e. Pivote.**

El Pivote forma parte de los sistemas de riego por aspersión mecanizados. Es un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando alrededor del primero. El equipo de riego se basa en el movimiento de una tubería porta emisores que se apoya en unas torres automotrices. Estas torres están dotadas de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve junto con barras o cables de elemento resistente para vencer la distancia entre torres. La distancia entre torres va desde 35 a 75 m, aunque lo más normal son las torres de 38 m (tramo corto) y 55 m (tramo largo). La longitud total del equipo varía de 60 a 800 m.

El equipo pivote riega una superficie de forma circular por lo que resulta inevitable que, si la parcela no tiene esta forma, queden zonas sin regar. Normalmente los

pivotes riegan un círculo completo aunque también se instalan para el riego de medio círculo. Si se desea regar la totalidad de la finca existen varias opciones. La opción más común es poner en riego estas partes de la finca con un sistema de cobertura total enterrada.

Otra opción menos corriente es añadir en el equipo los dispositivos llamados "de esquina". Estos dispositivos están formados por un alero articulado de la tubería porta emisores que solo se despliega y se pone en funcionamiento al pasar sobre una de estas zonas (esquinas del campo) que de otra forma quedarían sin regar.

#### **f. Laterales de avance frontal.**

Este equipo es de estructura semejante al pivote. Consiste en un ramal de riego montado sobre unas torres automotrices de dos ruedas que se desplazan en sentido perpendicular al ramal de riego. Riega superficies de forma rectangular

La tubería porta emisores, los emisores y los sistemas de propulsión son semejantes Al pivote. Sin embargo, la forma de suministrar agua al equipo y el mecanismo de alineamiento presentan diferencias respecto al equipo pivote. El suministro de agua se realiza directamente desde un canal o mediante una manguera flexible que es arrastrada por el mismo equipo. En el segundo caso, se necesitan hidrantes cada 200 o 300 m, llevando la maquina una manguera de 115 o 165 m. La pérdida de carga en la manguera hace que necesite más energía en estos montajes que en los de toma directa de un canal.

#### **2.2.4.1 Componentes de riego por aspersión.**

Calderón (1999), indica que el sistema de riego por aspersión, está integrado por varios componentes: captación, conductos abiertos o cerrados a presión atmosférica, tuberías presurizadas de conducción, hidrantes en forma de válvula o cámara de carga, rompe presiones, mangueras móviles, y aspersores.

**a. Captaciones.**

La captación es una obra de arte que se ubica en la fuente de agua, sea este un manantial, un canal o una quebrada. Para el caso de riego en laderas, generalmente se utilizan manantiales de pequeño caudal que varían de 0,1 a litros por segundo o algo más.

Cuando existen arrastre de sedimentos en el agua de riego, la captación deberá estar compuesto por: sedimentador, cámara de carga y caja de válvula.

**b. Sedimentador.**

En la mayoría de los canales, tanto en los tramos de tierra como en los revestidos, el flujo de agua presenta gasto de sólido considerable, que dificulta el buen funcionamiento de la cámara de carga y los aspersores; por tal razón es necesario diseñar y construir el depósito de sedimentación, así mismo se considera la transición del sedimentador, que es una ampliación de la rampa que ayuda a disipar la turbulencia.

**c. Cámara de carga.**

Es una pequeña estructura que sirve para generar y mantener una carga constante del caudal de agua hacia el sistema de tuberías, manteniendo constante el nivel de carga, tanto con la fuente del canal o del manante.

La cámara de carga es el depósito donde se almacena el caudal proveniente de la fuente de agua, su dimensionamiento se hace de acuerdo al área de riego a la que sirve, al caudal disponible y a la operación del sistema.

**d. Caja de válvula.**

Con fines de proteger de la válvula se construye una pequeña estructura, cuyas dimensiones están en base al diámetro del tubo de descarga y válvula.

**e. Conducción.**

La tubería de la línea principal en lo posible se emplaza en sentido de la mayor pendiente del terreno. Esta línea principal cumple la función de conducción de flujo hasta las líneas de distribución llamadas laterales, sub laterales, hidrantes y de estos mediante tuberías elevadoras hasta conectarse con el aspersor, en otros sistemas los aspersores se empotran directamente a los laterales.

**f. Cámara rompe presión.**

Se utiliza cuando algunos tramos de la línea principal se presentan sobre presión, generalmente, en sistemas medianos y grandes, donde la red principal, está ubicado en pendientes pronunciados. La sobre presión ocasiona el golpe de ariete fracturando tuberías, de esta manera la cámara rompe presión tienen la función de disipar la sobre presión para obtener una presión adecuada.

**g. Distribuciones.**

La red de distribución es parte del sistema de riego por aspersión conocido también como sub sistema; normalmente son de PVC, metálicos o mixtos. Cuando el sistema es de material PVC, los laterales, sub laterales y accesorios son tubos de PVC, con sus hidrantes correspondientes; las conexiones desde los hidrantes hasta los aspersores, se efectúan con manguera flexible reforzada, mangueras poco flexibles de polietileno, aspersores de plástico o metálico se sujetan sobre soportes metálicos, simples de tipo trípode.

**h. Hidrantes.**

Son pequeñas estructuras o aditamentos hidráulicos que a través de sus salidas permiten unir las líneas laterales o sub laterales con la red de aspersores, mediante mangueras de plástico reforzado o de polietileno

Los hidrantes pueden tener 1-2-3 hasta 4 bocadas o salidas, la ubicación de los hidrantes está sujeta al caudal, presión disponible y micro topografía de la parcela.

## 2.3 CULTIVO EN ESTUDIO.

### 2.3.1 Origen.

ICT (2004) indica que el cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie de los bosques tropicales húmedos de América del sur. Sus almendras constituyen el insumo básico para la industria del chocolate, cosmética, farmacéutica y otros derivados. La Amazonia es uno de los centros de mayor variabilidad genética de esta especie, su dispersión ha sido originada por influencia del hombre y animales, por diversos lugares generando cruzamientos o híbridos espontáneos; así como posibles mutaciones que han creado numerosos fenotipos de cacao comercial que hoy se cultivan.

ICCO (2003) indica que el género *Theobroma* es originario de América Tropical, específicamente de la cuenca alta del río Amazonas. El género posee algunas especies de gran relevancia económica en los trópicos, principalmente *Theobroma cacao* y en mucho menor grado *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. Las semillas de *T. cacao* se han empleado a lo largo de la historia para la preparación de bebidas y otros alimentos, bebida ceremonial y tributo a reyes.

Esta especie se encuentra actualmente distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur.

León (2000) indica que la evidencia biológica sobre el área de origen del cacao es muy imprecisa. En México, Centro y Suramérica se ha informado que existen poblaciones silvestres pero en ningún caso se ha podido establecer claramente que no hayan tenido relación con asentamientos humanos.

### 2.3.2 TAXONOMÍA.

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| Reino            | : Plantae          |
| Subreino         | : Tracheobionta    |
| División         | : Magnoliophyta    |
| Clase            | : Magnoliopsida    |
| Subclase         | : Dilleniidae      |
| Orden            | : Malvales         |
| Familia          | : Malvaceae        |
| Subfamilia       | : Byttnerioideae   |
| Tribu            | : Theobromeae      |
| Género           | : Theobroma        |
| Especie          | : Theobroma cacao  |
| Nombre binomial: | Theobroma cacao L. |

### 2.3.3 Descripción botánica.

Vera (1993) indica que el cacao es una planta perenne tropical, que se desarrolla desde el nivel del mar hasta 1000 m.s.n.m. Su altura depende de la variedad, suelo y condiciones climáticas, que va en las variedades nacionales de 15 a 18 m, mientras que en las clónales es de 2 a 4 m.

La planta de cacao es de tamaño mediano, aunque cuando crece libremente bajo sombra intensa, puede alcanzar alturas hasta de 20 metros.

Tiene un tronco recto que puede desarrollarse de formas muy variadas, según las condiciones ambientales. Por lo general, el cacao tiene su primera horqueta cuando alcanza un metro y medio de altura; en este punto, se desarrollan de 3 a 6 ramas principales a un mismo nivel, estas ramas forman el piso principal del árbol y se distinguen de los demás por ser la parte más productiva de la planta.

Cuando la planta crece libremente forma otra horqueta más arriba, llegando a formar varios pisos que provocan una baja producción y dificulta la recolección de los frutos. La planta de cacao tiene una raíz principal, que crece a más de un metro de profundidad y sirve para sostener a la planta. También tiene muchas raíces secundarias que se encuentran distribuidas alrededor del árbol y a poca profundidad. Estas raíces son las que se encargan de agarrar los nutrientes del suelo.

#### **2.3.3.1 Raíz.**

Batista (2009) afirma que la forma y desarrollo de las raíces del cacao dependen principalmente de la textura, estructura y consistencia del suelo así como del modo de reproducción. En suelos profundos bien aireados su crecimiento puede alcanzar hasta 2 metros de profundidad; en suelos pedregosos su crecimiento es tortuoso. Cuando el suelo es de una estructura granular uniforme y de textura arcillosa, la raíz crece erecta.

Paredes, (1983) menciona que la raíz principal o pivotante puede crecer normalmente entre 1,20 y 1,50 m, ocasionalmente puede alcanzar 2,0 m dependiendo del suelo y algunos otros factores edáficos del lugar. En los primeros 20 a 25 cm a partir del cuello de la raíz se desarrollan una gran cantidad de raíces laterales o secundarias que dan origen a su vez a raíces terciarias, etc. En su mayoría 85-90 % se ubican en los 20 a 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, llegando en un árbol normal a cubrir aproximadamente el equivalente a su copa pero en forma muy irregular.

Estas raicillas se localizan en la parte superior en contacto con el mantillo que cubre naturalmente el suelo.

#### **2.3.3.2 Tallo.**

Paredes, (1983) indica que el tronco o tallo crece verticalmente (ortotrópico) hasta formar el primer verticilo entre 80 y 100 cm de altura. Está cubierto por hojas pecioladas dispuestas en espiral. Pasado el primer año de vida de la planta, el tallo desarrolla una serie de yemas axilares (hasta 8) que en forma conjunta forman lo que

se llama el verticilo, corona o bien horqueta. Posteriormente la yema terminal desaparece y se desarrolla de 4 a 6 ramas de crecimiento laterales (plagiotrópicas).

Este crecimiento del tronco en altura se suspende un tiempo hasta que otra yema se desarrolla y forma lo que se llama chupón. Este se comporta en forma ortotrópica nuevamente de la misma manera que el tronco original hasta formar un segundo molinillo o verticilo entre los 80 y 100 cm de altura, lo que permite que el árbol pueda seguir creciendo casi indefinidamente.

### **2.3.3.3 Hojas.**

INIAP (1993) menciona que son simples, enteras y pigmentadas variando mucho el color de esta pigmentación, la mayoría es de color verde bastante variable. Algunos árboles tienen hojas tiernas bien pigmentadas (coloreadas) que pueden llegar a ser de un color marrón claro, morado o rojizo; también las hay de color verde pálido (casi sin coloración).

El pecíolo de la hoja del tronco ortotrópico, normalmente es largo, con un pulvinus bien marcado y el de las hojas de las ramas laterales es más pequeño, con pulvinus menos desarrollado. El tamaño de la hoja varía mucho, con una alta respuesta al ambiente; con menos luz es más grande, con más luz, más pequeña, en general los cacaos amazónicos tienen hojas más pequeñas.

### **2.3.3.4 Flores.**

Navarro (2006) afirma que nacen en grupos pequeños llamados cojines florales y se desarrollan en el tronco y ramas principales. Las flores salen donde antes hubieron hojas y siempre nacen en el mismo lugar; por eso, es importante no dañar la base del cojín floral para mantener una buena producción. De las flores se desarrollan los frutos o mazorcas con ayuda de algunos insectos pequeños. Tiene cinco sépalos, cinco pétalos cinco estambres y un pistilo solo el 10% de las flores se convierten en mazorcas. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos y la corola blancuzco

amarilla o rosada las flores están sobre un pulvinulo floral localizado en la corteza del tronco, ramas horizontales y formando pequeños racimos.

León (2000) indica que la flor individual del cacao tiene un pedicelo largo y fino de 1 a 1,5 cm de longitud, se compone de cinco sépalos agudos y rosados, de seis a ocho mm de largo, pubescentes, que en la flor abierta se expanden formando ángulo recto con el peciolo. La corola consiste de cinco pétalos blancos de seis a ocho mm de largo.

#### **2.3.3.5 Frutos.**

Vera (1993) indica que el fruto del cacao llamado comúnmente mazorca, es una drupa grande sostenida por un pedúnculo fuerte fibroso, que procede del engrosamiento del pedicelo floral; su forma varía considerablemente, generalmente es ovalado, pero hay desde tipos alargados hasta casi redondos, tiene diez surcos longitudinales principales.

#### **2.3.3.6 Semilla.**

Enríquez (2004) indica que las semillas son de forma oblonga y puede variar mucho en el tamaño. Algunas, en la parte más larga son redondeadas como en el caso del cacao tipo Criollo y del Nacional de Ecuador otras son bastante aplanadas como en el caso de los Forasteros. Algunas semillas tienen un extremo más puntiagudo que el otro, dándole la forma acorazonada. Tienen un recubrimiento o cutícula que protege a los cotiledones y en la parte exterior está el mucílago o hilio que es la parte dulce mucilaginoso que permite la fermentación de las semillas, este mucílago permite diferenciar algunos genotipos de cacao, por su sabor. El color de la semilla también es muy variable desde un blanco ceniciento, blanco puro, hasta un morado oscuro y todas las tonalidades, también permite diferenciar algunos genotipos. Algunas ocasiones se encuentran almendras coloreadas, en franjas alternas, especialmente cuando los Criollos han sido cruzados con los Forasteros. Se conoce también algunas mutaciones que dan el color blanco a la semilla pero por albinismo. Los cotiledones son las partes que tienen los nutrimentos para la próxima planta, pero también es el

producto que fermentado y secado adecuadamente se comercializa, para dar el chocolate.

#### **2.3.4 Requerimientos Edáficos del cacao.**

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con pH que oscilan entre 4,0 y 7,0. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo.

El suelo es el medio fundamental en el desarrollo de cacaotales. Se debe proteger contra los rayos directos del sol ya que éstos degradan rápidamente la capa de humus que puedan contener. Por ello se recomienda un adecuado sombreado y el mantenimiento de la hojarasca, no practicar labores profundas y cortar las malas hierbas lo más bajo posible. La hojarasca y el sombreado ayudan a mantener la humedad necesaria durante los meses de sequía.

Siendo su límite medio anual de temperatura los 21 °C. La temperatura determina la formación de flores. Cuando ésta es menor de 21 °C la floración es menor que a 25 °C, donde la floración es normal y abundante. Esto provoca que en determinadas zonas la producción de mazorcas sea estacional y durante algunas semanas no haya cosecha, cuando las temperaturas sean inferiores a 22 °C.

#### **Necesidades hídricas**

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos.

La cantidad mensual de agua es de 100 mm en los meses más secos, factor a considerar en parcelas bajo riego. En cultivos tecnificados, se puede aumentar la producción hasta 40 qq. de cacao seco por hectárea y a 25 qq. en huertas

tradicionales. Todo esto complementando el riego con podas y fertilizaciones adecuadas y oportunas

### **2.3.5 Requerimientos edafoclimaticas.**

#### **a. Precipitación.**

Paredes (2001), indica que el cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para efectuar sus procesos metabólicos. En términos generales, la lluvia es el factor climático que más variaciones presenta durante el año. Su distribución varía notablemente de una a otra región y es el factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo. La precipitación óptima para el cacao es de 1,600 a 2,500 mm. distribuidos durante todo el año. Diez precipitaciones que excedan los 2,600 mm. pueden afectar la producción del cultivo de cacao.

#### **b. Altitud.**

Paredes (2001), indica que el cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al ecuador las plantaciones desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1,000 a 1,400 msnm. La altitud no es un factor determinante como lo son los factores climáticos y edafológicos en una plantación de cacao. Observándose valores normales de fertilidad, temperatura, humedad, precipitación, viento y energía solar, la altitud constituye un factor secundario.

ICT (2004), menciona que el cacao es una planta que en las diferentes zonas cacaoteras del mundo se cultiva desde el nivel del mar hasta alturas considerables (1400 msnm), siendo el rango óptimo de 250 a 900 msnm; fuera de este límite las plantas sufren alteraciones fisiológicas que afectan el potencial productivo lo que se refleja en un menor rendimiento y baja rentabilidad para el productor.

### **c. Luminosidad.**

ICT (2004), menciona que la luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao especialmente para la función fotosintética, aunque en el cacao ocurre con baja intensidad estando a plena exposición solar.

Se considera que una intensidad lumínica menor del 50% limita los rendimientos, mientras que una intensidad lumínica ligeramente superior a 50% la incrementa.

### **d. Suelo.**

ICT (2004), menciona que los suelos más apropiados son los aluviales de textura franca: arcillo arenosa y arena arcillosa; sin embargo se ha observado una gran adaptabilidad a suelos en laderas con pendientes mayores a 25% aún con afloramiento rocoso en un rango muy amplio de reacción del suelo (pH 5,0 a 7,5). También se puede sembrar en laderas con manejo de coberturas establecidas a curvas de nivel.

### **2.3.6 Necesidades hídricas de los cultivos.**

Fuentes (2003) La evapotranspiración es la cantidad de agua que necesita un cultivo para su crecimiento óptimo. Esta palabra, evapotranspiración representa la suma del agua necesaria para cubrir la evaporación que se produce desde la superficie del suelo y la transpiración que realizan las plantas desde sus partes verdes (sobre todo desde las hojas).

Los métodos de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos deben ser contrastados en las condiciones climáticas de cada zona regable. Normalmente se utiliza la metodología de la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas) por su sencillez y sentido práctico. Además, estos métodos de cálculo han sido probados con éxito en distintas zonas y climas del mundo.

### III. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1 MATERIALES.

##### 3.1.1 Campo experimental

###### 3.1.1.1 Ubicación del campo experimental.

La evaluación del presente estudio de investigación se realizó entre los meses de mayo y diciembre del 2013, mediante pruebas de campo, dichas pruebas se realizaron en una parcela de cacao injertado de la variedad CCN 51, en una extensión de 2 has con una densidad de 1111 plantas por ha, con un sistema de siembra en tres bolillos y con el sistema de riego por aspersión.

El sector donde se realizó la evaluación presenta suelos franco arenoso según análisis de suelos efectuado por el laboratorio de COCLA, a donde se recurrió para el análisis mecánico de caracterización. Cabe resaltar que tanto el cultivo como el sistema de riego fue implementado por la Municipalidad Distrital de Echarati.

###### 3.1.1.2 Ubicación política.

Región : Cusco  
Provincia : La Convención  
Distrito : Echarati  
Sector : Maranniyoc  
Propiedad : Crispin Juiro Mescco

###### 3.1.1.3 Condiciones del campo experimental.

Latitud Sur : 12° 45' 05"  
Longitud Oeste : 72° 32' 15"  
Altitud : 1200 m.s.n.m.  
T° media mensual : 22.08 °C  
H° Relativa : 80.30 %  
Precipitación anual : 976 mm  
Zona de vida : bs – ST (Bosque Seco – sub Tropical).

### 3.1.1.4 Características de la zona de estudio.

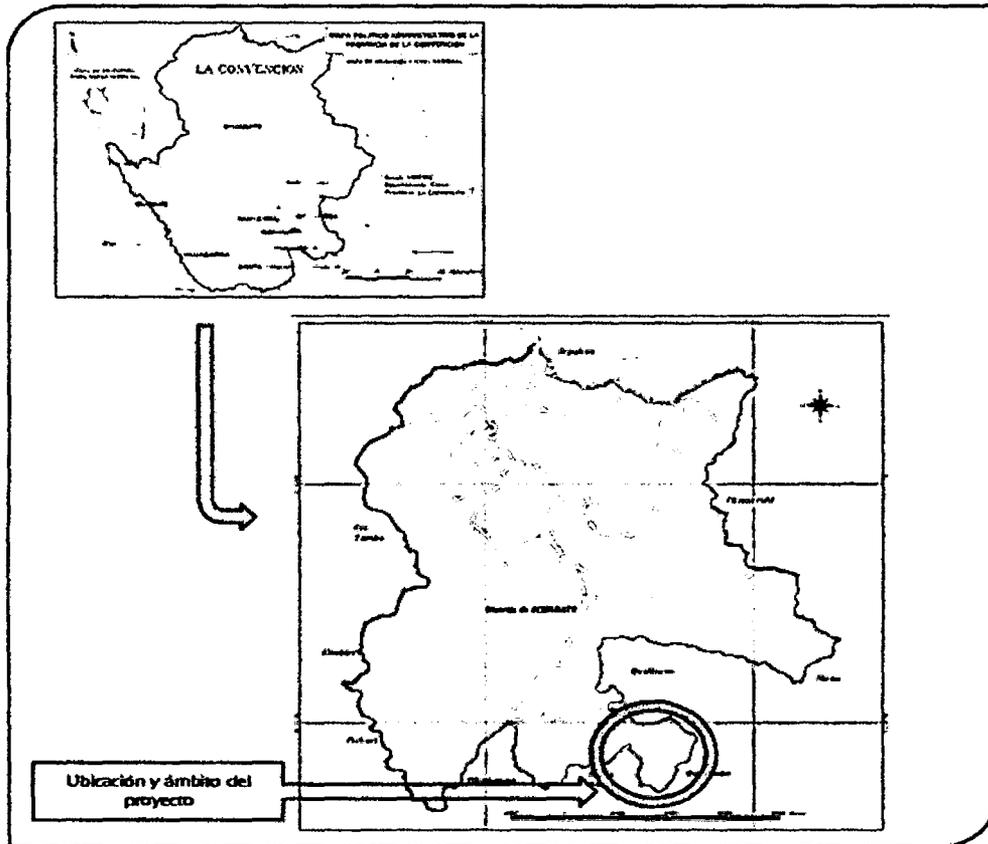


Figura N° 3: Mapa de ubicación del trabajo de tesis.

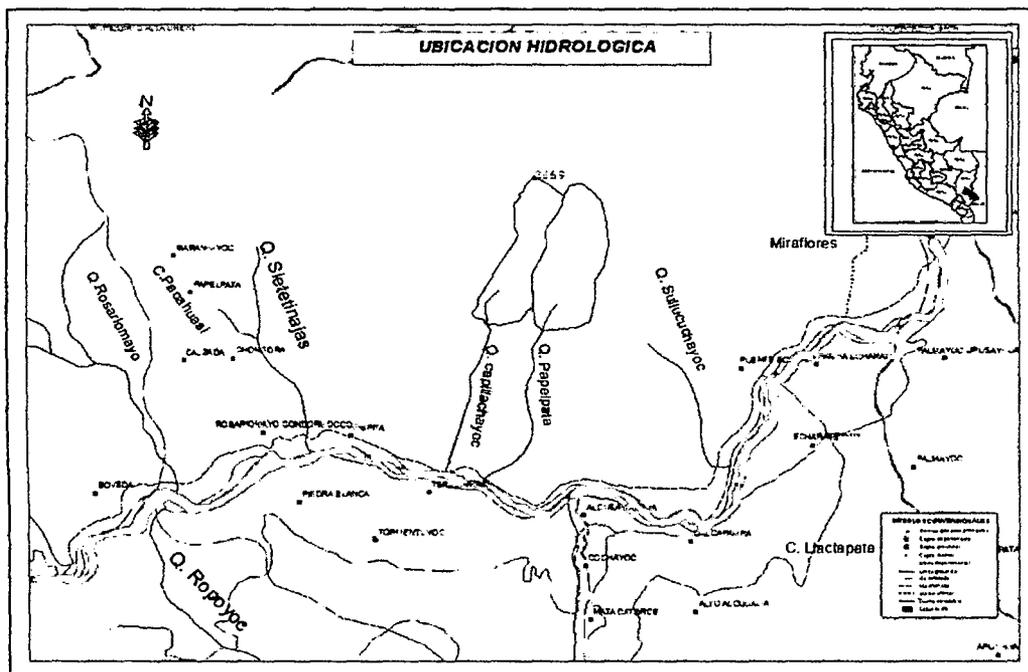


Figura N° 4: Mapa de ubicación hidrológica del trabajo de tesis.

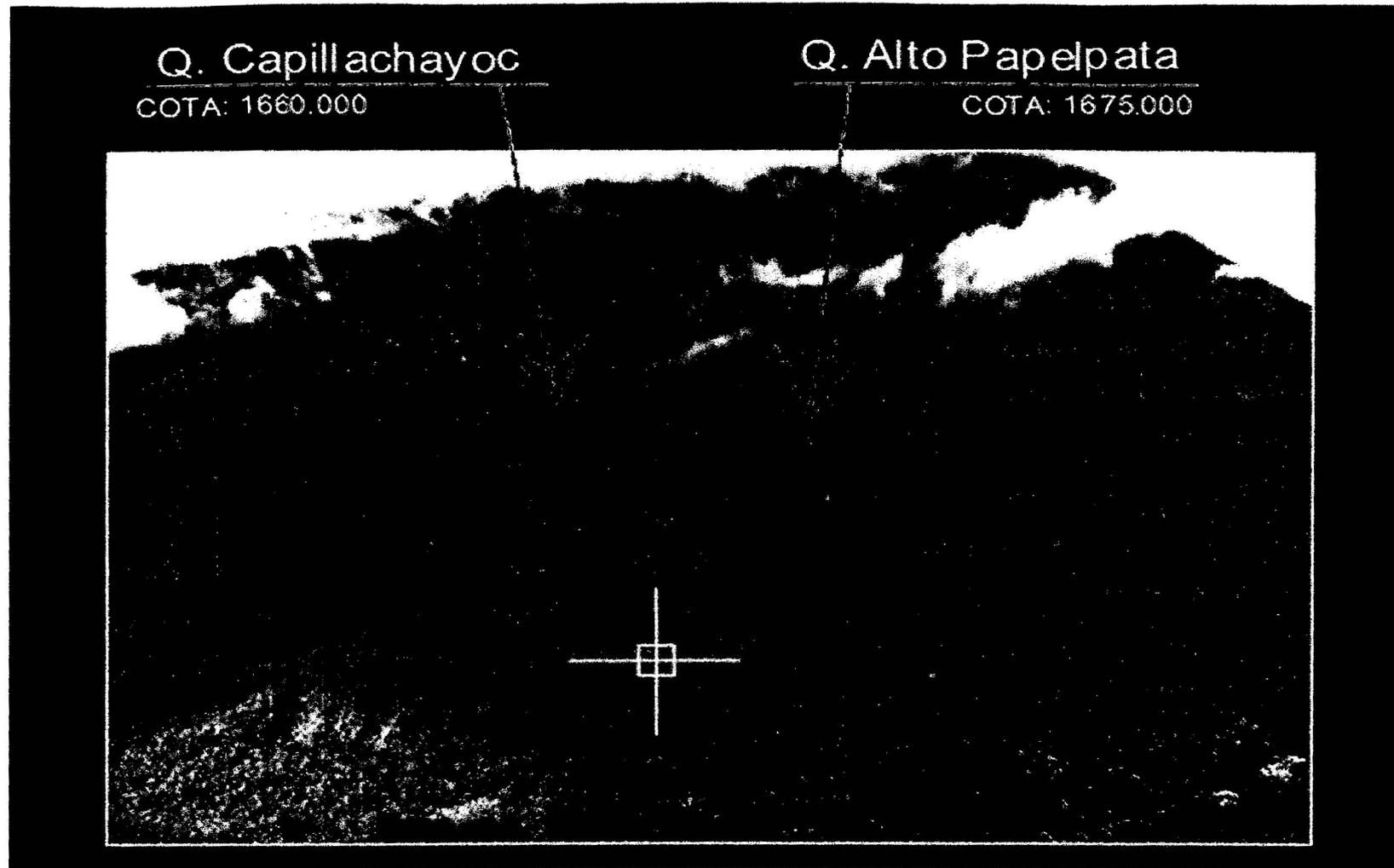


Figura N° 5: Vista panorámica del sector de Maranniyoc

### **3.1.1.5 Historial del campo experimental.**

En el campo experimental donde se realizó la investigación corresponde a un terreno regularmente explotado con cultivos de pan llevar como yuca, frejoles y uncucha y algunos cultivos perennes como lima, café y cacao común, tiene una pendiente del 12 % con un porcentaje de sombra del 40 % lo necesario para que el cultivo del cacao prospere sin problemas ya que este cultivo es del tipo injertado CCN 51 con sombra temporal de plátano y frijol de palo, con una edad de dos años con un sistema de instalación en tres bolillos.

La parcela tiene una extensión de tres hectáreas y se viene trabajando aproximadamente 20 años según refiere el actual dueño, con intervalos de descanso y trabajo, practicando la rotación de cultivos de pan llevar y con establecimiento de cacao CCN 51 que precisamente para la etapa de la investigación ya estaba establecido.

### **3.1.1.6 Registro meteorológico.**

Presenta un clima cálido lluvioso en los meses de diciembre a marzo y cálido seco de abril a noviembre; sin embargo, este clima por situarse en ceja de selva, presenta al mismo tiempo una serie de variaciones según la topografía, altitud, periodo de lluvias, estíos, estaciones del año etc, éstas variaciones originan diferentes microclimas muy propicios para diferentes cultivos y crianzas en todo el ámbito de la cuenca. La temperatura varía entre los 14.79°C en el mes de junio y 24.80°C en el mes de octubre. Las máximas extremas se presentan entre Setiembre a Noviembre con 30.63°C y mínimas extremas en junio con 18.5°C.

La variación de la humedad relativa registra los siguientes datos:

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Mínima promedio mensual | : 82.40 %  |
| Máxima promedio mensual | : 76.30 %  |
| Promedio anual          | : 80.30 %. |

Las diferentes precipitaciones acompañadas de las elevadas temperaturas predominantes en esta zona más la densa vegetación existente determina una humedad relativa alta de 82%.

### 3.1.1.7 Materiales y herramientas.

#### a. Equipos móviles de riego.

- ✓ Codo PE (polietileno) de 1" x 32 mm
- ✓ Elevador PVC de 1" x 1 m
- ✓ Trípode metálico graduable de 1"
- ✓ Trípode metálico fijo de 1"
- ✓ Manguera de 100 m PE clase 10
- ✓ Aspersores VYR 35, 60 y 70 (sectoriales y circulares)
- ✓ 3 T de 1"
- ✓ 3 T de ½"
- ✓ 3 Reductor de ½"

#### b. Equipo de pluviometría.

- ✓ 120 recipientes de plástico de 1000 ml de capacidad y 12 cm de diámetro en la superficie
- ✓ 3 probetas graduadas de 500, 1000 y 2000 ml de capacidad
- ✓ 1 jarra de plástico de 1 litro

#### c. Equipos de medición.

- ✓ 1 manómetro
- ✓ 1 anemómetro
- ✓ 1 cronómetro
- ✓ Fichas de registro
- ✓ 1 infiltrómetro
- ✓ 1 brújula
- ✓ 1 balanza de precisión

- ✓ Bolsas de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad
- ✓ 1 pico
- ✓ 1 estufa desecadora

d. Equipos de gabinete.

- ✓ 1 cámara fotográfica
- ✓ Computadora
- ✓ Impresora
- ✓ Formula Excel para cálculos

## 3.2 MÉTODOS.

### 3.2.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación es netamente de campo puesto que todos los datos fueron determinados en el sitio mismo de la investigación, utilizando protocolos previamente establecidos y que sirvieron de base para realizar de la manera más adecuada el presente proyecto.

Montgomery menciona que; “ Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida”

Asimismo debemos tener en cuenta que la variable independiente y la dependiente solo son utilizadas en los trabajos de tipo experimental.

### 3.2.2 Parámetros técnicos evaluados.

Primeramente se procedió a recopilar toda la información pertinente al sistema de riego instalado, con sus respectivas características técnicas del equipo de riego. En base a la información disponible se realizó la evaluación técnica en los tres módulos

de riego. La evaluación consistió en la determinación de los parámetros técnicos de coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución. Eficiencia de aplicación de agua de los aspersores en estudio.

### **Método de ejecución de las pruebas por área de aspersión**

Para la realización de este método se tuvo que determinar el diseño agronómico, con la finalidad de aplicar adecuadamente el riego por aspersión.

### **3.2.3 Diseño agronómico.**

El diseño agronómico consistió en determinar las necesidades totales de agua para riego, el marco de riego con el número de aspersores, así como la dosis y el tiempo y frecuencia de riego, datos básicos para el posterior diseño hidráulico y una gestión eficiente del sistema de instalación de riego.

Procedimientos adoptados:

Cuadro 2: Determinación de los parámetros de riego:

| <b>PARÁMETROS AGRONÓMICOS</b>      | <b>UNIDAD DE MEDIDA</b> |
|------------------------------------|-------------------------|
| Capacidad de campo                 | %                       |
| Punto de marchitez                 | %                       |
| Densidad Aparente                  | g/cc                    |
| profundidad radicular efectiva     | m                       |
| Nivel de agotamiento permisible    | %                       |
| Evapotranspiración potencial       | mm/día                  |
| Evapotranspiración del cultivo     | mm/día                  |
| Eficiencia de aplicación del riego | %                       |
| Caudal disponible                  | l/s                     |
| <b>INDICES DE RIEGO</b>            | <b>UNIDAD DE MEDIA</b>  |
| Lamina neta                        | mm                      |
| lamina bruta                       | mm                      |
| Consumo diario                     | mm/día                  |
| Frecuencia de riego                | días                    |
| Numero de riegos por mes           | riegos/mes              |
| Tiempo de riego                    | horas                   |

### 3.2.3.1 Cálculo de la capacidad de campo (CC).

La capacidad de campo es la máxima cantidad de agua expresada en porcentaje (%) que puede retener un suelo contra la fuerza de gravedad, después de que se ha mojado abundantemente y se ha drenado por 48 a 72 horas.

Existen varios métodos para calcular la capacidad de campo, en este caso se eligió la ecuación publicada por **Fuentes Yague** en “Técnicas de riego” que consiste en una regresión lineal entre el contenido de arcilla, arena y limo, cuyos valores fueron tomados del análisis de caracterización mecánico del suelo y se reemplazó en la siguiente ecuación:

$$CC = 0.48Ac + 0.162 Li + 0.023 Ar + 2.62$$

Donde;

CC = Capacidad de Campo (en % de Pss)

Ac = Contenido de arcilla (en % de Pss)

Li = Contenido de limo (en % de Pss)

Ar = Contenido de arena (en % de Pss)

Pss = Peso seco del suelo

Resultando la Capacidad de Campo de la siguiente manera:

$$CC = 0.48 (17) + 0.162 (41) + 0.023 (62) + 2.62$$

$$CC = 18,848 \%$$

Lo que significa que la retención de agua según la textura del suelo corresponde a Arenoso Limoso.

### 3.2.3.2 Cálculo de punto de marchitez.

El punto de marchitez permanente se ha definido como la cantidad de agua presente en el suelo cuando un cultivo se marchita permanentemente

De igual forma que la capacidad de campo existen ecuaciones o métodos propuestos por varios autores, pero por ser parámetros complementarios y el más recomendado y recientes el de **Fuentes Yague**, que plantea:

$$\mathbf{PMP = 0.302 Ac + 0.102Li + 0.0147Ar}$$

Donde;

PMP = Punto de Marchitez Permanente (en % de Pss)

Ac = Contenido de arcilla (en % de Pss)

Li = Contenido de limo (en % de Pss)

Ar = Contenido de arena (en % de Pss)

Resultando el Punto de Marchitez Permanente de la siguiente manera:

$$\mathbf{PMP = 0.302 (17) + 0.102 (41) + 0.0147(62)}$$

$$\mathbf{PMP = 10,2274 \%}$$

### **3.2.3.3 Cálculo de densidad aparente.**

La densidad aparente es la relación que existe entre la masa de un suelo seco y su volumen en condiciones naturales. Es decir, el peso del suelo seco por unidad de volumen total(conteniendo todos sus poros).

La densidad aparente viene dada por:

$$\mathbf{Dap = \frac{Pss}{Vt}}$$

Donde;

Dap = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pss = Peso de suelo seco a estufa a 105° C en gramos (g)

Vt = Volumen total (cm<sup>3</sup>)

Se calculó empleando el método del hoyo que consiste en limpiar el terreno y extraer muestras de suelos hasta determinada profundidad para luego ser pesada, luego se colocó una funda de plástico y se le agregó agua para medir el volumen, esto se hizo en dos lugares representativos recolectando la muestra total de suelo húmedo que se llevó a estufa obteniéndose 91 gramos de suelo seco para un volumen total de 70 cm<sup>3</sup> que da el resultado de:

$$Dap = \frac{91}{70 \text{ cm}^3} g$$
$$Dap = 1,3 \text{ g/cm}^3$$

#### **3.2.3.4 Profundidad radicular efectiva.**

Se realizó las mediciones de las raíces del cultivo en estudio para lo cual se evaluó ocho plantas de diferentes lugares de la parcela y considerando los tamaños entre cuatro grandes y cuatro pequeños, cuyos resultados de la medición promedio es de 0,40 m de profundidad radicular efectiva del cultivo del cacao en el presente trabajo de investigación.

#### **3.2.3.5 Cálculo del nivel de agotamiento permisible.**

Llamado también humedad disponible, se refiere al agua disponible entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, en este caso es:

$$HD = CC - PMP$$

$$HD = 18,848 - 10,227$$

$$HD = 8,621\%$$

#### **3.2.3.6 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>).**

Para realizar el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó la ecuación de Penman- Monteith modificado por ser el más utilizado actualmente.

Para obtener la evapotranspiración potencial se valores climatológico que provienen del estudio hidrológico acumulados para lo cual utilizamos los programas Climwat 2.0 para Cropwat 8.0 proporcionados por la FAO y corresponden al mes de máxima demanda que para el presente caso es el mes de Mayo. Los valores de la ET<sub>o</sub>

relacionados con la lámina neta a aplicar, nos permitirá establecer los intervalos de riego.

Cuadro 3: Valores climatológicos

| DESCRIPCION            | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OCT   | NOV   | DIC   |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T° MAX (°C)            | 29.6  | 29.4  | 29.7  | 31.8  | 31.5  | 31    | 31    | 32.4  | 30    | 32.2  | 30.8  | 29.2  |
| T° MIN (°C)            | 18.4  | 18.6  | 18.3  | 18.2  | 16.5  | 15.08 | 16.4  | 18.1  | 17.2  | 18.7  | 18.5  | 17.9  |
| H° RELATIVA %          | 83.96 | 80.62 | 77.25 | 55.45 | 57.19 | 62.06 | 58.19 | 55.71 | 75.51 | 71.37 | 78.74 | 88.24 |
| VELOC VIENTO Km/dia    | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 | 51.84 |
| INSOLACION HORAS h/dia | 4.68  | 4.6   | 4.75  | 5.28  | 6.33  | 6.56  | 6.62  | 6.1   | 5.28  | 5.15  | 5.34  | 4.32  |
| RAD SOLAR (MJ/m2 dia)  | 17.53 | 17.24 | 16.69 | 15.98 | 15.73 | 15.06 | 15.52 | 16.32 | 16.78 | 17.7  | 18.45 | 16.9  |
| Eto (mm/dia)           | 3.54  | 3.51  | 3.36  | 3.32  | 3.06  | 2.78  | 2.87  | 3.29  | 3.3   | 3.69  | 3.81  | 3.39  |
| PRECIPITACION (mm/mes) | 162   | 150   | 140   | 71    | 36    | 13    | 21    | 30    | 51    | 67    | 90    | 145   |

Fuente: Elaboración propia extraído del programa Climwat 2.0

En el cuadro 4 se tiene los resultados de ETo para el año 2013 y con proyección en los meses finales de la investigación.

Cuadro 4: Valores de la evapotranspiración potencial

| MES             | T° MIN °C   | T° MAX °C   | HUMEDAD % | VIENTO Km/dia | Insolación Horas horas/dia | Radiación solar MJ/m2/dia | Eto mm/dia  |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------|----------------------------|---------------------------|-------------|
| ENERO           | 18.4        | 29.6        | 83        | 52            | 4.7                        | 14                        | 2.82        |
| FEBRERO         | 18.6        | 29.4        | 81        | 52            | 4.6                        | 15                        | 3.09        |
| MARZO           | 18.3        | 29.7        | 77        | 52            | 4.7                        | 16.2                      | 3.38        |
| ABRIL           | 18.2        | 31.8        | 55        | 52            | 5.3                        | 17.7                      | 3.89        |
| MAYO            | 16.5        | 31.5        | 57        | 52            | 6.3                        | 19.1                      | <b>4.09</b> |
| JUNIO           | 15.1        | 31          | 62        | 52            | 6.6                        | 19.2                      | 3.98        |
| JULIO           | 16.4        | 31          | 58        | 52            | 6.6                        | 19.3                      | 3.99        |
| AGOSTO          | 18.1        | 32.4        | 56        | 52            | 6.1                        | 18.7                      | 4.07        |
| SETIEMBRE       | 17.2        | 30          | 76        | 52            | 5.3                        | 17.2                      | 3.56        |
| OCTUBRE         | 18.7        | 32.2        | 71        | 52            | 5.2                        | 16                        | 3.44        |
| NOVIEMBRE       | 18.5        | 30.8        | 79        | 52            | 5.3                        | 15.1                      | 3.13        |
| DICIEMBRE       | 17.9        | 29.2        | 88        | 52            | 4.3                        | 13.1                      | 2.61        |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>17.7</b> | <b>30.7</b> | <b>70</b> | <b>52</b>     | <b>5.4</b>                 | <b>16.7</b>               | <b>3.5</b>  |

Fuente; Elaboración propia extraído del programa Climwat 2.0

Por lo tanto para la investigación se consideró una ETo de 4,09 mm/día para los sectores de riego.

Para efecto del diseño agronómico se escoge la evapotranspiración máxima que corresponde al mes de Mayo con un valor de **ETo = 4.09 mm/día.**

### **3.2.3.7 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo en estudio.(ETc)**

El coeficiente del cultivo Kc es que fue tomado del Estudio de la FAO Riego y drenajes 56 “Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” cuyo valor para el cacao corresponde a Kc inicial 1.00, Kc medio 1.05 y Kc final 1.05 con una altura máxima del cultivo de 3 metros, por tanto se consideró a la etapa de máximo desarrollo y producción, es decir 1,05 de Kc, entonces la evapotranspiración del cultivo de cacao injertado es:

$$ETc = ETo * Kc$$

$$ETc = 4,09 \text{ mm/día} * 1,05$$

$$ETc = 4,2945 \text{ mm/día} = \text{equivalente a } \mathbf{4,3 \text{ mm/día}}$$

### **3.2.3.8 La eficiencia de aplicación del riego.**

Cuando se aplica el riego en la parcela se trata de que se produzca la menor cantidad de perdidas posibles, aunque en la práctica no existe un riego totalmente eficiente, esto depende en el riego por aspersión del clima y la tecnología utilizada y las pérdidas de agua se reducen solo a nivel de la parcela, dependen básicamente de las condiciones del clima del medio, que interviene cuando el agua sale del aspersor y se encuentra con un ambiente que tiende a evaporarlo en mayor o menor grado.

La eficiencia con que se haga llegar ese volumen de agua al suelo se conoce también como eficiencia parcelaria; Existen estudios relacionados al tema que para nuestro caso de estudio el valor de la eficiencia de aplicación del agua de riego según Fuentes Yague, José Luis es de 0.65 a 0.85 %

### **3.2.3.9 El caudal disponible.**

El sistema de riego tecnificado por aspersión en el sector de Maranniyoc está diseñado para llevar un caudal mínimo de 15 l/s.

### 3.2.3.10 Cálculo de índices de riego.

#### a. Lámina Neta (Ln).

Se determina mediante la siguiente relación:

$$Ln = \frac{(CC - PMP)}{100} \cdot Da \cdot Pr \cdot 10000 \cdot n$$

Dónde:

Ln = Lámina neta de agua de reposición o riego (mm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto marchites permanente (%)

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pr. = Profundidad de enraizamiento (mm)

n = Descenso tolerable de humedad del cultivo

Al reemplazar los datos de la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, la densidad aparente, la profundidad de raíces en la fórmula para obtener la lámina neta.

El resultado es:

$$Ln = \frac{(18,848 - 10,2274)}{100} \cdot 1,3 \cdot 0,40 \cdot 0,10$$

$$Ln = 44,72 \text{ mm}$$

#### b. Lámina Bruta (Lb).

Se determina mediante la siguiente relación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef}$$

Dónde:

Ln = Lámina neta de riego.

Ef = Eficiencia de Aplicación.

$$Lb = \frac{44,72}{0,65}$$

La eficiencia de aplicación de riego se consideró en el rango mínimo, resultando:

$$Lb = 68,80 \text{ mm}$$

**c. Consumo Diario.**

Se determina mediante la siguiente relación:

$$Cd = \frac{ETo}{N^\circ \text{días}}$$

Dónde:

ETo = Evapotranspiración potencial máxima mm/mes, para nuestro estudio corresponde al mes de mayo con un valor de 4.09 mm/día \* 31 = 126.79 mm/mes

Entonces resulta:

$$Cd = \frac{126.79}{31}$$

$$Cd = 4.09 \text{ mm/día}$$

**d. Frecuencia de riego.**

Se determina mediante la siguiente relación:

$$Fr = \frac{Ln}{Cd}$$

Dónde:

Ln = Lámina neta (mm)

Cd = Consumo diario (mm/día)

$$Fr = \frac{44.72}{4.09}$$

$$Fr = 10.93 \approx 11 \text{ días}$$

**e. Número de riegos por mes.**

Se determina mediante la siguiente relación:

$$N = \frac{30}{Fr}$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego

$$N = \frac{30}{11}$$

$$N = 2.72 \approx 3 \text{ riegos /mes}$$

**f. Tiempo de riego.**

$$Tr = \frac{Lb}{Iasp.}$$

Dónde:

Lb = Lámina de riego (mm).

I asp. = Descarga del aspersor (mm/h)

$$Tr = \frac{68.80}{21.12}$$

$$Tr = 3.26 \text{ horas} \approx 3.30 \text{ horas}$$

**3.2.4 Diseño hidráulico.**

**3.2.4.1 El sistema hidráulico del sector de Maranniyoc.**

El proyecto cuenta con dos fuentes hídricas que está constituida por la quebrada de Capillachayoc y Alto Papelpata, conforme a las evaluaciones hechas deduce que produce un caudal de 13 l/s (al 75% de probabilidad) para el mes de mayor demanda (Septiembre); caudal que resulta mayor a lo equivalente a la demanda hídrica del proyecto que es de 12 l/s, con lo que se garantiza la sostenibilidad hídrica del funcionamiento del sistema de riego.

El planteamiento hidráulico del proyecto considera un sector de riego denominados Maranniyoc, donde cuenta con las siguientes infraestructuras:

- **Quebrada de Alto Papelpata Margen Derecha:**

1 Bocatoma sumergida o tipo tirol, 1 desarenador, 1 cámara de reunión de 5m<sup>3</sup>, 617m de línea de conducción principal que trabajara a presión y entubada, en dicha línea existen 3 laterales que abastecen a 5 beneficiarios, dentro de las obras de sostenimiento, 15 m de muro de contención, en cuanto al sistema de distribución se propone el riego tecnificado por aspersión con 38 hidrantes en cabecera de terreno de los beneficiarios: 8 cámaras rompe presión, 8 válvulas de purga y , 3860 ml de tubería, el caudal que conducirá la línea principal será de 13.03 l/s, regará 27,5 ha que beneficiara a 38 familias.

- **Quebrada de Capillachayoc**

1 Bocatoma sumergida o tipo tirol, 1 desarenador, 1 cámara de reunión, 202 m de línea de conducción principal que trabajará a presión y entubada, en dicha línea se trasladará 7 litros hacia la cámara de reunión, dentro de las obras de sostenimiento, 15 m de muro de contención, entre la captación y desarenador.

Cuadro 5: Relación de Obras Civiles

| Ítem | Descripción                                | Und. | Cantidad |
|------|--|------|----------|
| 1    | OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES         | und  | 1        |
| 2    | SISTEMA DE CAPTACION                       | und  | 2        |
| 3    | DESARENADOR                                | und  | 2        |
| 4    | LINEA DE CONDUCCION                        | ml   |          |
| 4.01 | Línea de Conduccion (Alto Papelpata)       | ml   | 617      |
| 4.02 | Línea de Conduccion (Capillachayoc)        | ml   | 202      |
| 4.03 | Red de distribución primaria               | ml   | 1893     |
| 4.04 | Red de distribución secundaria             | ml   | 3417     |
| 5    | CAMARA DE REUNION                          | und  | 1        |
| 6    | CAMARA DE VALVULAS (cámara de reunión)     | und  | 2        |
| 7    | CAMARA ROMPE PRESION (Red de Distribución) | und  | 8        |
| 8    | VALVULAS DE PURGA (Red de Distribución)    | und  | 8        |
| 9    | VALVULA DE AIRE (Red de Distribución)      | und  | 6        |
| 10   | VALVULAS DE CONTROL                        | und  | 8        |
| 11   | HIDRANTE                                   | und  | 38       |

### 3.2.4.2 Características técnicas de los aspersores en investigación.

En esta investigación se utilizó los siguientes aspersores con sus características indicadas:

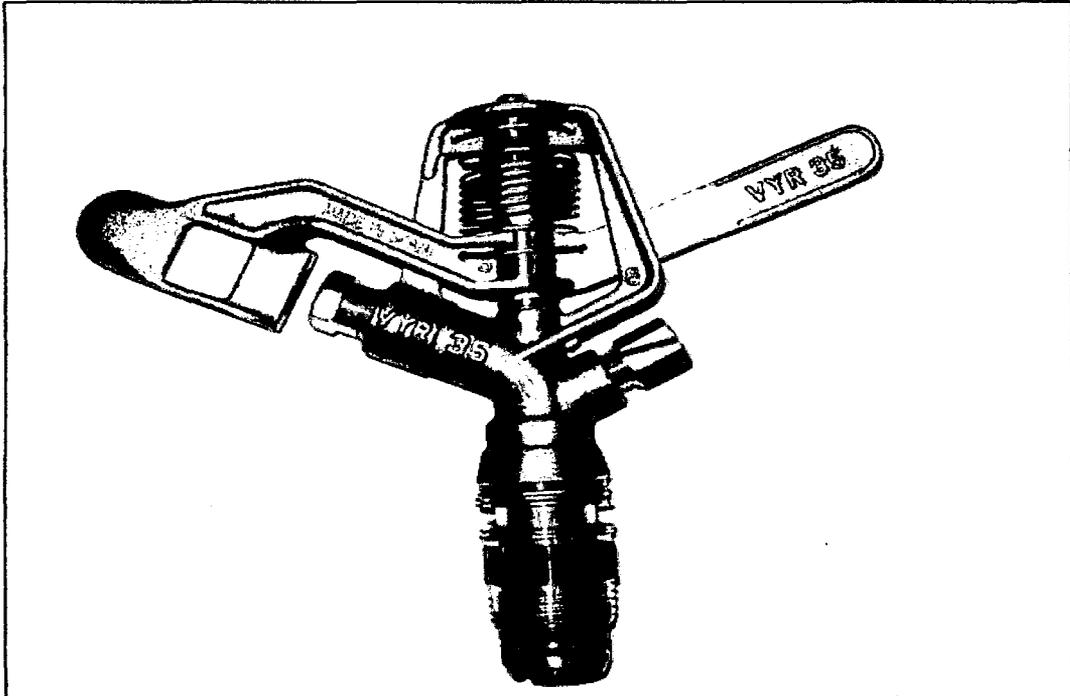


Figura N° 5: Aspersor VYR 35

Cuadro 6: Características – Aspersor VYR 35.

| PRESIÓN  |  | 3.5 BAR             |      |                    |      |    |
|--|--|---------------------|------|--------------------|------|----|
| MARCO  |  | CAUDAL DEL ASPERSOR |      | DIAMETRO DE MOJADO | CU % |    |
|  |  | BOQUILLA mm         | l/h  | l/s                | m    |    |
| 14 X 14 TRIANGULAR   |  | 4.4 X 2.4           | 1800 | 0.5                | 15   | 83 |
| <b>Características generales:</b>  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Aspersor de impacto agrícola de medio caudal.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Conexión macho ó hembra de 3/4".   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Fabricado en latón y acero inoxidable.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Juntas de rotación de alta resistencia.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Angulos de las boquillas de 26° y 26°.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Diseño para riegos de cobertura con los espaciamentos más estándar del mercado.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Aspersor líder en el mercado agrícola.   |  |                     |      |                    |      |    |
| <b>Especificaciones técnicas:</b>  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Alcance: 13-18 m.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Caudal: 660- 3270 l/h.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Presión de trabajo: 1,75 - 4,5 BAR.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Sector: Circular.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Boquillas: Dos boquillas, una principal y otra secundaria deflectora ó tapón.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Angulos de trayectoria: 26° y 26°.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Altura máxima de chomo: 2,4 m.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Coeficiente de Uniformidad superior al 80% en:   |  |                     |      |                    |      |    |
| <b>Modelos:</b> marcos de 18x18R, 19x19T, 19x20T.  |  |                     |      |                    |      |    |
| <b>Aplicaciones:</b>   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Este modelo es adaptable a prácticamente cualquier tipo de cultivo y cumple con un rango de condiciones pluviométricas y espaciamentos que se adaptan a un gran número de diferentes tipos de cultivo. |  |                     |      |                    |      |    |
| • Plantaciones horticolas, cereales, tuberculosas, leguminosas, y frutales.  |  |                     |      |                    |      |    |
| <b>Dimensiones:</b>  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Altura: 14 cm.   |  |                     |      |                    |      |    |
| • Ancho: 17 cm.  |  |                     |      |                    |      |    |
| • Peso: 430 grs.   |  |                     |      |                    |      |    |

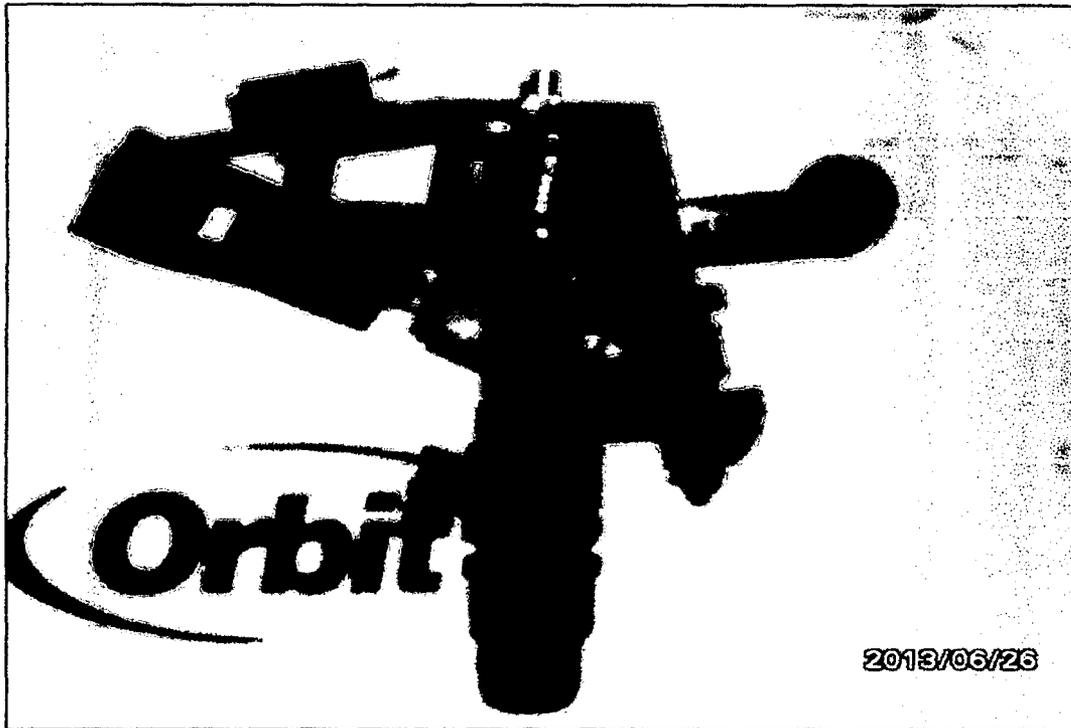


Figura N° 6: Aspersor VYR 37

Cuadro 7: Características – Aspersor VYR 37.

| PRESIÓN  |           | 3.5 BAR             |     |                    |      |
|--|-----------|---------------------|-----|--------------------|------|
| MARGO  |           | CAUDAL DEL ASPERSOR |     | DIAMETRO DE MOJADO | CU % |
|  |           | I/h                 | I/s | m                  |      |
| 15 X 15 TRIANGULA R  | 4.4 X 2.4 | 1800                | 0.5 | 15                 | 89   |
| <b>Características generales:</b>  |           |                     |     |                    |      |
| • Aspersor de impacto agrícola de medio caudal.  |           |                     |     |                    |      |
| • Conexión macho ó hembra de 3/4".   |           |                     |     |                    |      |
| • Fabricado en plástico.   |           |                     |     |                    |      |
| • Juntas de rotación de alta resistencia.  |           |                     |     |                    |      |
| • Ángulos de las boquillas de 25° y 25°.   |           |                     |     |                    |      |
| • Diseño para riegos de cobertura con los espaciamentos más estándar del mercado.  |           |                     |     |                    |      |
| • Aspersor líder en el mercado agrícola.   |           |                     |     |                    |      |
| <b>Especificaciones técnicas:</b>  |           |                     |     |                    |      |
| • Alcance: 13-19 m.  |           |                     |     |                    |      |
| • Caudal: 800- 2100 l/h.   |           |                     |     |                    |      |
| • Presión de trabajo: 2 - 5 BAR.   |           |                     |     |                    |      |
| • Sector: Circular.  |           |                     |     |                    |      |
| • Boquillas: Dos boquillas, una principal y otra secundaria deflectora ó tapón.  |           |                     |     |                    |      |
| • Ángulos de trayectoria: 25° y 25°.   |           |                     |     |                    |      |
| • Altura máxima de chorro: 2,5 m.  |           |                     |     |                    |      |
| • Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo.  |           |                     |     |                    |      |
| • Coeficiente de Uniformidad superior al 85% en:   |           |                     |     |                    |      |
| <b>Modelos:</b> marcos de 15x15T, 15x18R.  |           |                     |     |                    |      |
| <b>Aplicaciones:</b>   |           |                     |     |                    |      |
| • Este modelo es adaptable a prácticamente cualquier tipo de cultivo y cumple un rango de condiciones pluviométricas y espaciamentos que se adaptan a un gran número de diferentes tipos de cultivo. |           |                     |     |                    |      |
| • Plantaciones hortícolas, cereales, tuberculosas, leguminosas, y frutales.  |           |                     |     |                    |      |
| <b>Dimensiones:</b>  |           |                     |     |                    |      |
| • Altura: 14 cm.   |           |                     |     |                    |      |
| • Ancho: 16 cm.  |           |                     |     |                    |      |
| • Peso: 280 grs.   |           |                     |     |                    |      |



Figura N° 7: Aspersor VYR 70.

Cuadro 8: Características – Aspersor VYR 70.

| <b>PRESIÓN</b>   |                        | <b>4 BAR</b>               |             |                                     |             |
|--|------------------------|----------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|
|  |                        | <b>VYR 70</b>              |             |                                     |             |
| <b>MARCO</b>   | <b>BOQUILLA<br/>mm</b> | <b>CAUDAL DEL ASPERSOR</b> |             | <b>DIAMETRO<br/>DE MOJADO<br/>m</b> | <b>CU %</b> |
|  |                        | <b>l/h</b>                 | <b>l/s</b>  |                                     |             |
| <b>18 X 18<br/>TRIANGULA<br/>R</b>   | <b>4.8 X 3.2</b>       | <b>2600</b>                | <b>0.72</b> | <b>16.5</b>                         | <b>91</b>   |
| <b>Características generales:</b>  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Aspersor de impacto agrícola de caudal medio alto.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Conexión macho ó hembra de 3/4".   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Fabricado en latón y acero inoxidable.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Juntas de rotación de alta resistencia.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Ángulos de las boquillas de 26° y 30°.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Diseño para riegos de cobertura con los espaciamentos más estándar del mercado.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Aspersor líder en el mercado agrícola.   |                        |                            |             |                                     |             |
| <b>Especificaciones técnicas:</b>  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Alcance: 14-21 m.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Caudal: 950- 5250 l/h.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Presión de trabajo: 2.5 - 5 BAR.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Sector: Circular.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Boquillas: Dos boquillas, una principal y otra secundaria deflectora ó tapón.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Ángulos de trayectoria: 26° y 30°.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Altura máxima de chorro: 4,3 m.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Tiempo de rotación: Dependiendo de la presión y boquillas es uniforme y continuo.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Coeficiente de Uniformidad superior al 90% en:   |                        |                            |             |                                     |             |
| <b>Modelos:</b> marcos de 18x18R, 20x18T, 20x20T.  |                        |                            |             |                                     |             |
| <b>Aplicaciones:</b>   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Este modelo es adaptable a prácticamente cualquier tipo de cultivo y cumple un rango de condiciones pluviométricas y espaciamentos que se adaptan a un gran número de diferentes tipos de cultivo. |                        |                            |             |                                     |             |
| • Plantaciones hortícolas, cereales, tuberculosas, leguminosas, y frutales.  |                        |                            |             |                                     |             |
| <b>Dimensiones:</b>  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Altura: 15 cm.   |                        |                            |             |                                     |             |
| • Ancho: 20 cm.  |                        |                            |             |                                     |             |
| • Peso: 548 grs.   |                        |                            |             |                                     |             |

### 3.2.5 Ejecución de pruebas en el área de aspersión.

#### 3.2.5.1 Pruebas de infiltración.

Este método es muy utilizado en todo el mundo por su practicidad. Consiste en dos anillos metálicos concéntricos (ver fig 8), que pueden fabricarse localmente. Los anillos de 30 cm como mínimo en el interior y 50 cm en el exterior, son fabricados de modo tal que se acoplen uno con otro, para ocupar menos espacio. Se recomienda reforzarles el borde superior para poder soportar los golpes necesarios para clavarlo. El borde inferior debe estar biselado para penetrar mejor en el suelo.

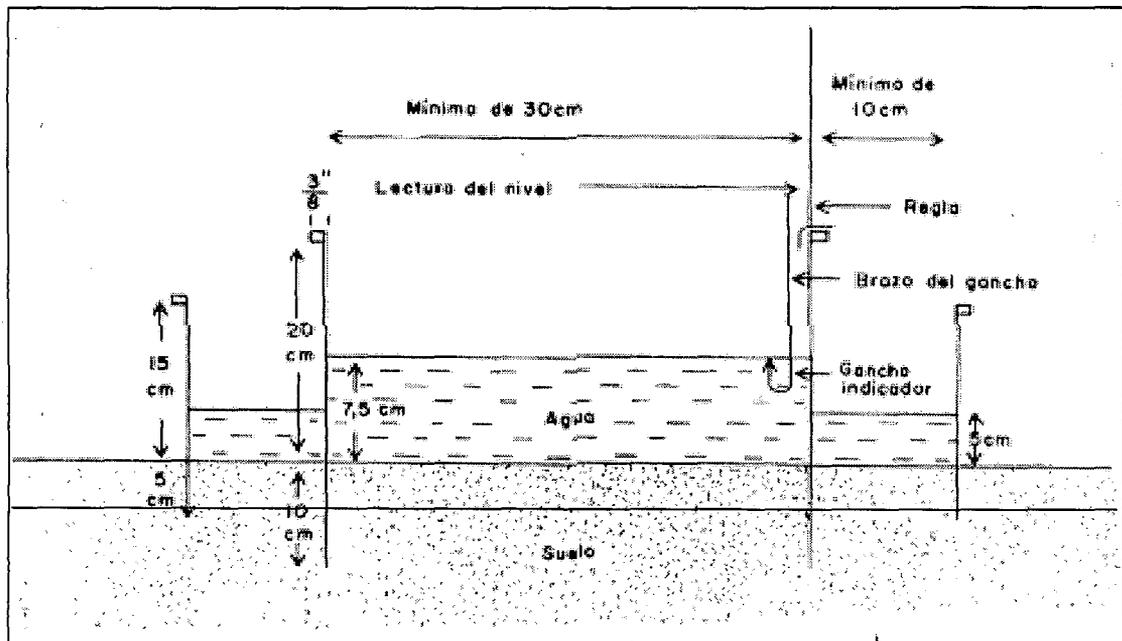


Figura N° 8: Esquema de utilización del método de doble anillo

El procedimiento utilizado fue hincar el anillo interior a una profundidad de 10 cm con un mazo que se golpea sobre un taco de madera. El anillo exterior debe estar hundido como mínimo 5 cm.

El anillo exterior sirve para establecer las condiciones de borde, de modo que el flujo logrado es completamente unidimensional. En el anillo interior es donde va la regla graduada para realizar las lecturas. Primero se vuelca agua en el exterior (5 cm, previamente marcados con tiza) y luego en el interior. La regla debe tener el cero a 7,5 cm del suelo y hasta ese valor se llena. Para efectuar las lecturas se recomienda un gancho invertido sujeto a la pared para poder visualizar bien su superficie. El nivel

dentro del anillo interior no debe bajar de 5 cm, para lo cual debe agregarse agua cada vez que ese límite es superado. Una vez hecha la instalación y agregada el agua, se comienza la experiencia, poniendo en cero el cronómetro. En cada lectura medida se toma el tiempo. Las primeras cinco es conveniente medirlas cada minuto, luego dos o tres cada cinco minutos, dos cada 10 min, dos cada 15 min, dos cada 20 min, y luego cada hora hasta que la lectura se haga constante, pero no conviene superar las 24 horas.

Cuando se repone agua debe anotarse en la planilla. En donde resume los datos de campo obtenidos y su procesamiento. Los resultados se muestran en los cuadros:

Cuadro 9: Ensayo de infiltración.

| TIEMPO (min) |           | VOLUMEN INFILTRADO (ml) | LAMINA INFILTRADA (cm) |           | VELOCIDAD DE INFILTRACION (cm/h) |        |          |
|--------------|-----------|-------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|--------|----------|
| PARCIAL      | ACUMULADO |                         | PARCIAL                | ACUMULADA | INSTANTANEA                      |        | PROMEDIO |
| 0            | 0         | 0.00                    | 0.00                   | 0.00      | —                                |        | —        |
| 5            | 5         | 409.00                  | 5.06                   | 5.06      | 60.72                            | 303.59 | 60.72    |
| 5            | 10        | 375.00                  | 4.64                   | 9.70      | 55.67                            | 278.35 | 58.19    |
| 5            | 15        | 329.60                  | 4.08                   | 13.78     | 48.93                            | 244.65 | 55.11    |
| 5            | 20        | 312.00                  | 3.86                   | 17.64     | 46.32                            | 231.59 | 52.91    |
| 10           | 30        | 341.00                  | 4.22                   | 21.85     | 25.31                            | 253.11 | 43.71    |
| 10           | 40        | 167.40                  | 2.07                   | 23.93     | 12.43                            | 124.25 | 35.89    |
| 15           | 55        | 193.00                  | 2.39                   | 26.31     | 9.55                             | 143.26 | 28.71    |
| 15           | 70        | 170.00                  | 2.10                   | 28.42     | 8.41                             | 126.18 | 24.36    |
| 30           | 100       | 275.30                  | 3.41                   | 31.82     | 6.81                             | 204.34 | 19.09    |
| 30           | 130       | 199.00                  | 2.46                   | 34.28     | 4.92                             | 147.71 | 15.82    |
| 30           | 160       | 183.00                  | 2.26                   | 36.55     | 4.53                             | 135.83 | 13.71    |
| 60           | 220       | 166.00                  | 2.05                   | 38.60     | 2.05                             | 123.22 | 10.53    |
| 60           | 280       | 158.00                  | 1.95                   | 40.56     | 1.95                             | 117.28 | 8.69     |

| Tiempo acum. (min) To | Lám. Inf. Acum. (cm) Icum | X = log To | Y = log (Icum) | X.Y     | X²      | Y²     |         |
|-----------------------|---------------------------|------------|----------------|---------|---------|--------|---------|
| 5                     | 5.06                      | 0.6990     | 0.7041         | 0.4922  | 0.4886  | 0.4958 |         |
| 10                    | 9.70                      | 1.0000     | 0.9867         | 0.9867  | 1.0000  | 0.9736 |         |
| 15                    | 13.78                     | 1.1761     | 1.1391         | 1.3397  | 1.3832  | 1.2976 |         |
| 20                    | 17.64                     | 1.3010     | 1.2464         | 1.6216  | 1.6927  | 1.5535 |         |
| 30                    | 21.85                     | 1.4771     | 1.3395         | 1.9787  | 2.1819  | 1.7944 |         |
| 40                    | 23.93                     | 1.6021     | 1.3789         | 2.2090  | 2.5666  | 1.9013 |         |
| 55                    | 26.31                     | 1.7404     | 1.4202         | 2.4716  | 3.0289  | 2.0169 |         |
| 70                    | 28.42                     | 1.8451     | 1.4536         | 2.6820  | 3.4044  | 2.1129 |         |
| 100                   | 31.82                     | 2.0000     | 1.5027         | 3.0055  | 4.0000  | 2.2582 |         |
| 130                   | 34.28                     | 2.1139     | 1.5351         | 3.2451  | 4.4688  | 2.3565 |         |
| 160                   | 36.55                     | 2.2041     | 1.5629         | 3.4447  | 4.8681  | 2.4425 |         |
| 220                   | 38.60                     | 2.3424     | 1.5866         | 3.7165  | 5.4869  | 2.5173 |         |
| 280                   | 40.56                     | 2.4472     | 1.6081         | 3.9352  | 5.9886  | 2.5858 |         |
| n                     | S                         | 21.9484    | 17.4639        | 31.1284 | 40.5486 | 0.0000 | 24.3063 |
| 13                    | Promedio                  | 1.6883     | 1.3434         |         |         |        |         |

|       |        |                  |        |  |
|-------|--------|------------------|--------|--|
| dXY = | 1.6435 | A <sub>0</sub> = | 0.5488 | $I_{cum} = A \times T_o^B$<br>$I_{cum} = 4.2043 \times T_o^{0.4447}$ |
| dX² = | 3.4923 | A =              | 3.5385 |  |
| B =   | 0.4706 | r² =             | 0.9145 |  |





Cuadro 12: Ensayo de infiltración 3.

| TIEMPO (min) |           | VOLUMEN INFILTRADO (ml) | LAMINA INFILTRADA (cm) |           | VELOCIDAD DE INFILTRACION (cm/h) |        |          |
|--------------|-----------|-------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|--------|----------|
| PARCIAL      | ACUMULADO |                         | PARCIAL                | ACUMULADA | INSTANTANEA                      |        | PROMEDIO |
| 0            | 0         | 0.00                    | 0.00                   | 0.00      | —                                |        | —        |
| 5            | 5         | 401.00                  | 4.96                   | 4.96      | 59.53                            | 297.65 | 59.53    |
| 5            | 10        | 330.00                  | 4.08                   | 9.04      | 48.99                            | 244.95 | 54.26    |
| 5            | 15        | 322.50                  | 3.99                   | 13.03     | 47.88                            | 239.38 | 52.13    |
| 5            | 20        | 319.00                  | 3.95                   | 16.98     | 47.36                            | 236.78 | 50.94    |
| 10           | 30        | 343.00                  | 4.24                   | 21.22     | 25.46                            | 254.60 | 42.45    |
| 10           | 40        | 220.00                  | 2.72                   | 23.94     | 16.33                            | 163.30 | 35.92    |
| 15           | 55        | 185.00                  | 2.29                   | 26.23     | 9.15                             | 137.32 | 28.62    |
| 15           | 70        | 170.00                  | 2.10                   | 28.34     | 8.41                             | 126.18 | 24.29    |
| 30           | 100       | 274.60                  | 3.40                   | 31.73     | 6.79                             | 203.83 | 19.04    |
| 30           | 130       | 198.20                  | 2.45                   | 34.18     | 4.90                             | 147.12 | 15.78    |
| 30           | 160       | 188.30                  | 2.33                   | 36.51     | 4.66                             | 139.77 | 13.69    |
| 60           | 220       | 171.00                  | 2.12                   | 38.63     | 2.12                             | 126.93 | 10.54    |
| 60           | 280       | 156.00                  | 1.93                   | 40.56     | 1.93                             | 115.79 | 8.69     |

| TIEMPO acum. (min) To | Lám. Inf. Acum. (cm) Icum | X = log To | Y = log (Icum) | X.Y     | X²      | Y²     |         |
|-----------------------|---------------------------|------------|----------------|---------|---------|--------|---------|
| 5                     | 4.96                      | 0.6990     | 0.6956         | 0.4862  | 0.4886  | 0.4838 |         |
| 10                    | 9.04                      | 1.0000     | 0.9563         | 0.9563  | 1.0000  | 0.9146 |         |
| 15                    | 13.03                     | 1.1761     | 1.1150         | 1.3114  | 1.3832  | 1.2433 |         |
| 20                    | 16.98                     | 1.3010     | 1.2299         | 1.6002  | 1.6927  | 1.5127 |         |
| 30                    | 21.22                     | 1.4771     | 1.3268         | 1.9598  | 2.1819  | 1.7604 |         |
| 40                    | 23.94                     | 1.6021     | 1.3792         | 2.2096  | 2.5666  | 1.9022 |         |
| 55                    | 26.23                     | 1.7404     | 1.4188         | 2.4693  | 3.0289  | 2.0131 |         |
| 70                    | 28.34                     | 1.8451     | 1.4523         | 2.6797  | 3.4044  | 2.1093 |         |
| 100                   | 31.73                     | 2.0000     | 1.5015         | 3.0030  | 4.0000  | 2.2545 |         |
| 130                   | 34.18                     | 2.1139     | 1.5338         | 3.2424  | 4.4688  | 2.3526 |         |
| 160                   | 36.51                     | 2.2041     | 1.5625         | 3.4439  | 4.8581  | 2.4413 |         |
| 220                   | 38.63                     | 2.3424     | 1.5869         | 3.7172  | 5.4869  | 2.5183 |         |
| 280                   | 40.56                     | 2.4472     | 1.6081         | 3.9353  | 5.9886  | 2.5860 |         |
| n                     | S                         | 21.9484    | 17.3668        | 31.0143 | 40.5486 | 0.0000 | 24.0921 |
| 13                    | Promedio                  | 1.6883     | 1.3359         |         |         |        |         |

|        |        |                  |        |
|--------|--------|------------------|--------|
| d XY = | 1.6932 | A <sub>0</sub> = | 0.5173 |
| d X² = | 3.4923 | A =              | 3.2911 |
| B =    | 0.4848 | r² =             | 0.9208 |

$I_{cum} = A \times T_o^B$   
 $I_{cum} = 4.2043 \times T_o^{0.4447}$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13: Cálculo de la función de velocidad de infiltración 3

| CALCULO DE LA FUNCION DE VELOCIDAD DE INFILTRACION |                    |                        |           |                                     |                |  |
|--|--------------------|------------------------|-----------|-------------------------------------|----------------|--|
| Tiempo acum.(min) To                               | Vel. inf. (cm/h) I | X = log To             | Y = log I | X.Y                                 | X <sup>2</sup> | Y <sup>2</sup>                                     |
| 5  | 59.53              | 0.6990                 | 1.7747    | 1.2405                              | 0.4886         | 3.1497   |
| 10   | 48.99              | 1.0000                 | 1.6901    | 1.6901                              | 1.0000         | 2.8564   |
| 15   | 47.88              | 1.1761                 | 1.6801    | 1.9760                              | 1.3832         | 2.8228   |
| 20   | 47.36              | 1.3010                 | 1.6754    | 2.1797                              | 1.6927         | 2.8069   |
| 30   | 25.46              | 1.4771                 | 1.4059    | 2.0766                              | 2.1819         | 1.9764   |
| 40   | 16.33              | 1.6021                 | 1.2130    | 1.9433                              | 2.5666         | 1.4713   |
| 55   | 9.15               | 1.7404                 | 0.9616    | 1.6736                              | 3.0289         | 0.9247   |
| 70   | 8.41               | 1.8451                 | 0.9249    | 1.7066                              | 3.4044         | 0.8555   |
| 100  | 6.79               | 2.0000                 | 0.8321    | 1.6643                              | 4.0000         | 0.6925   |
| 130  | 4.90               | 2.1139                 | 0.6905    | 1.4598                              | 4.4688         | 0.4768   |
| 160  | 4.66               | 2.2041                 | 0.6683    | 1.4730                              | 4.8581         | 0.4466   |
| 220  | 2.12               | 2.3424                 | 0.3254    | 0.7622                              | 5.4869         | 0.1059   |
| 280  | 1.93               | 2.4472                 | 0.2855    | 0.6987                              | 5.9886         | 0.0815   |
| n  | S                  | 21.9484                | 14.1276   | 20.5443                             | 40.5486        | 18.6671  |
| 13   | Promedio           | 1.6883                 | 1.0867    |                                     |                |  |
| dXY =  | -3.3079            | a <sub>0</sub> =       | 2.6859    |                                     |                |  |
| dX <sup>2</sup> =                                  | 3.4923             | a =                    | 485.1684  | $I = a \times T_0^b$                |                |  |
| b =  | -0.9472            | r <sup>2</sup> =       | 0.9454    | $I = 513.8653 \times T_0^{-0.9322}$ |                |  |
| CALCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA     |                    |                        |           |                                     |                |  |
|  |                    | $T_b = -10(b)$         | =         | 9.47                                | horas          |  |
|  |                    | $T_b = -600(b)$        | =         | 568.31                              | min *          |  |
|  |                    | $I_b = a \times T_b^b$ | =         | 1.19                                | cm/h           |  |
|  |                    | $I_b = a \times T_b^b$ | =         | 11.93                               | mm/h           |  |
|  |                    |                        |           |                                     |                | * Dato utilizado en la fórmula de I <sub>b</sub> . |

Fuente: Elaboración Propia

### Velocidad de infiltración básica

En nuestra investigación se consideró los resultados de las pruebas de campo; Es importante mencionar que los valores de la infiltración básica (IB) son parámetros que nos permitirán determinar si la aplicación del agua producirá escorrentía superficial o no, para lo cual se deberá tomar en cuenta dos condiciones:

**Condición 1.** Si la IB es mayor a la velocidad de aplicación, no se producirá escorrentía superficial.

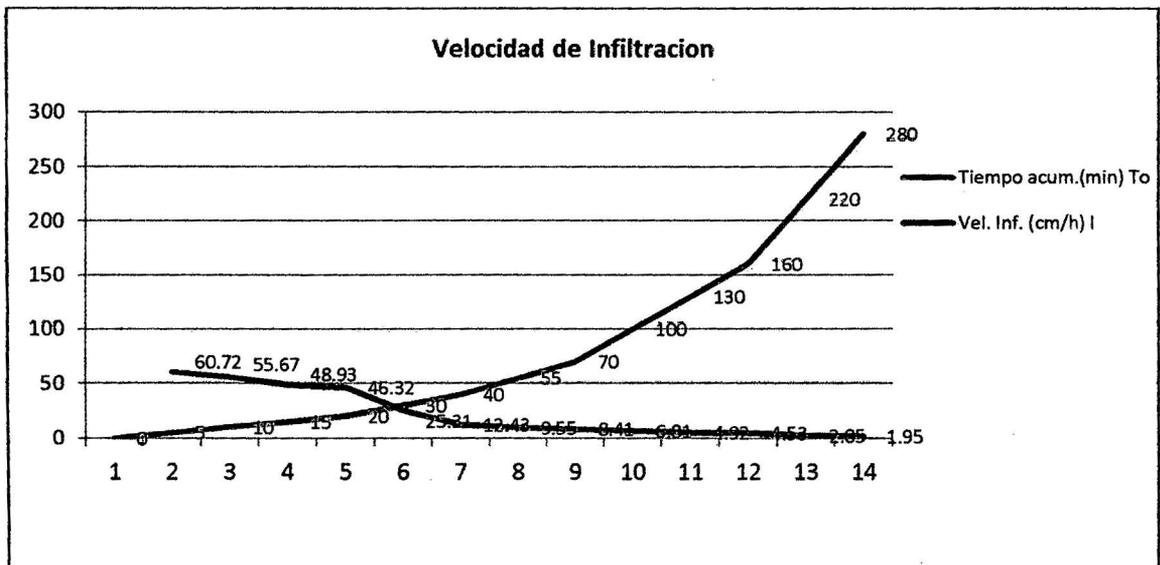
**Condición 2.** Si la IB es menor a la velocidad de aplicación, se producirá escorrentía superficial.

Para el primer caso, se podrá utilizar aspersores de mayor capacidad de aplicación, lo cual implicará reducir tiempos de aplicación. Se requiere para ello disponer de buena presión de funcionamiento.

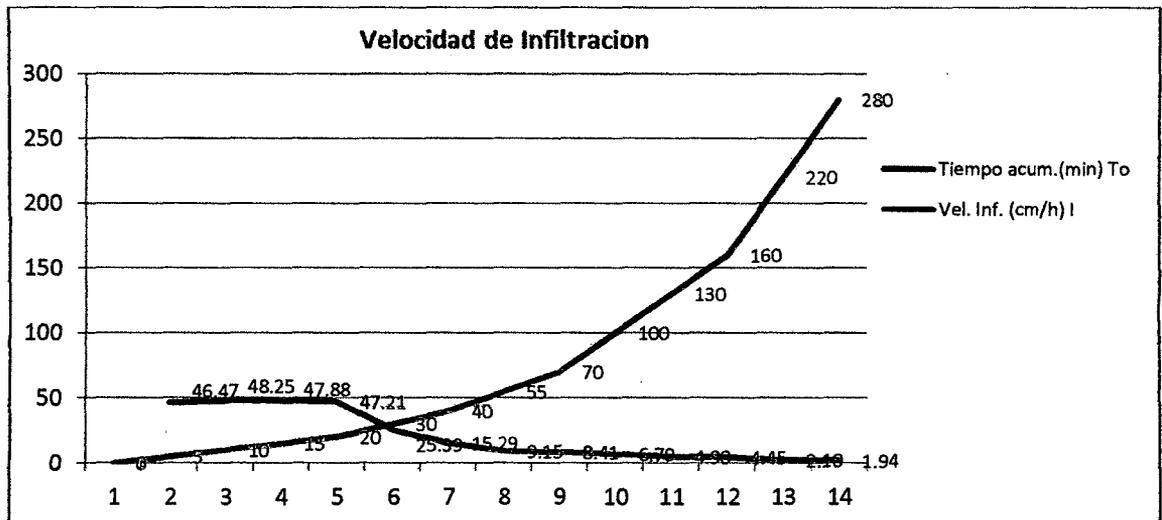
Para el segundo caso, no se puede utilizar aspersores de gran capacidad ya que éstos generarán escorrentía superficial y consecuentemente erosión, más aun tratándose de suelo de ladera moderada. Solo podrá utilizarse aspersores de menor capacidad, lo que implicará ampliar el tiempo de aplicación de riego.

Por lo tanto se tomó en cuenta que la velocidad de aplicación del aspersor sea menor a la infiltración básica.

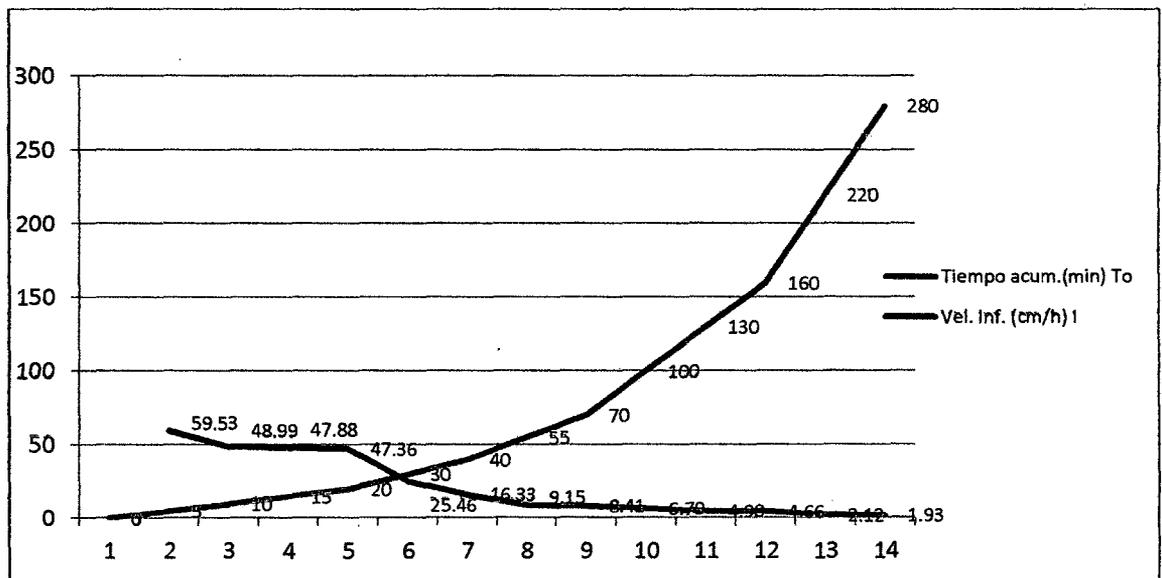
Cuadro N° 14 Curva de la velocidad de infiltración prueba 1



Cuadro N° 15 Curva de la velocidad de infiltración prueba 2



Cuadro N° 16 Curva de la velocidad de infiltración prueba 3



### 3.2.6 Evaluación del coeficiente de uniformidad

Para evaluar el grado de uniformidad en la aplicación del agua al suelo se colocaron pluviómetros con diámetros de 12 cm por 13 cm de altura, alrededor del aspersor a una distancia de 3 m entre recipientes, con un traslape entre aspersores de 1 metro, haciendo un total de 8 pluviómetros por aspersor y se determinó el coeficiente de uniformidad mediante el método estadístico de Christiansen expresada en porcentajes según la siguiente expresión:

$$Cu = 100 \left[ 1 - \frac{\sum X}{\sum m \times n} \right]$$

Dónde:

Cu = Uniformidad de aplicación de Christiansen.

X = Desviación estándar de las observaciones.

m = Media de todas las observaciones o lecturas (cm<sup>3</sup>).

n= Número de observaciones o lecturas.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (C.U.), resulta un primer paso en el análisis de la calidad de aplicación del agua, pero solo en forma cuantitativa, por ejemplo se considera que una parcela está bien regada cuando se consigue un coeficiente de uniformidad entre 85 y 90 %.

Un aspersor no distribuye el agua de manera totalmente uniforme, recibiendo más agua la zona más próxima al aspersor y menos agua a medida que nos alejamos de aquel, de ahí que cuando se riega en bloque es necesario solapar una parte de las áreas regadas para lograr una mayor uniformidad de reparto.

Los parámetros de clasificación del desempeño de sistema de riego por aspersión, con base en los coeficientes de uniformidad de Christiansen (CUC) y de distribución (CUD) se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 17: Parámetros CUC y CUD

| PARAMETRO | EXCELENTE | BUENO | RAZONABLE | MALO  | INACEPTABLE |
|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-------------|
| CUC %     | > 90      | 80-90 | 70-80     | 60-70 | < 60        |
| CUD %     | < 84      | 68-84 | 52-68     | 36-52 | < 36        |

Fuente: Parámetros de clasificación del desempeño de sistema de riego por aspersión, con base en los coeficientes de uniformidad de Christiansen.

En los cuadros siguientes se observan los resultados del coeficiente de uniformidad de Christiansen, para cada uno de los aspersores evaluados.







### 3.2.7 Evaluación de la eficiencia de aplicación.

El resultado del análisis de los coeficientes de uniformidad y de las eficiencias de aplicación y almacenamiento de agua en el suelo, para el diseño y manejo de sistemas de riego por aspersión, proporciona mayor confiabilidad cuando se utilizan las informaciones de humedad obtenidas en el perfil del suelo. Para nuestra investigación en el caso de la evaluación de la eficiencia de aplicación en el marco de aspersión resultaron según los cuadros siguientes:

Cuadro 21: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión. VYR 35

| ENSAJO DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN                             |                     |                                   |                                     |   |                                     |
|---|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| <b>I. DATOS GENERALES</b>   |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Departamento :  | Cusco               | Evaluador :                       | Edwin Porfirio Velasco Seguirós     |   |                                     |
| Provincia :   | La Convención       | Fecha de evaluación :             | 09/07/2013                          |   |                                     |
| Distrito :  | Echarati            | Cultivo :                         | Cebada CCN 61                       |   |                                     |
| Propietario :   | Crispín Juho Mescco | Área parcela (m <sup>2</sup> ) :  | 10000                               |   |                                     |
| <b>Datos del Aspersor :</b>   |                     |                                   | <b>Datos de la línea de riego :</b> |   |                                     |
| Dámetro de Boquilla (mm) :  | 4.4 x 2.4           | Nº de aspersores :                | 2                                   |   |                                     |
| Marcas aspersoras :   | VYR 36              | Tipo de línea :                   | Manguera de PE C-10                 |   |                                     |
| Materiales :  | Latón y acero       | Longitud de la línea (m) :        | 100                                 |   |                                     |
| CU :  | 83%                 | Dámetro de la línea (pulg) :      | 3/4"                                |   |                                     |
|   |                     | Transferencia de elevadores (m) : | 1.00                                |   |                                     |
| <b>II. CONTROL DE TIEMPOS Y CAUDALES DE RIEGO</b>   |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Hora  |                     | Tiempo Riego = T                  | Tiempo escurrimiento = te           |   |                                     |
| Hora de Inicio :  | 07:00:00 a.m.       | Hora                              | Hora                                |   |                                     |
| Hora de fin de riego :  | 10:30:00 a.m.       | 3.30                              | 0.60                                |   |                                     |
| Medir el caudal de ingreso (inicial y final) de la línea (suma de caudales de aspersores) |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Medir la presión cada al inicio y al final de la prueba                                   |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Nº MEDICIÓN   | Caudal de INGRESO   | Presión (bar)                     | Caudal de SALIDA                    | Hora de cambio                                |                                     |
| 1 = 20 min  | 0.50                | 2.50                              |                                     |   |                                     |
| 2 = 120 min   | 0.50                | 2.50                              | 0.46                                | 10:30:00                                      |                                     |
| PROMEDIO (l/s)  | 0.50                |                                   | 0.46                                |   |                                     |
| PROMEDIO (m <sup>3</sup> /hr)   | 1.80                |                                   | 1.62                                |   |                                     |
|   |                     |                                   |                                     | Dámetro de mojado (m) :                       | 15                                  |
|   |                     |                                   |                                     | Rev. por minuto del aspersor :                | 1                                   |
|   |                     |                                   |                                     | Golpes/minuto del martillo del aspersor :     | 85                                  |
|   |                     |                                   |                                     | Área zona de pluviómetros (m <sup>2</sup> ) : | 108                                 |
| Dato del aforador   |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| <b>III. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (cm)</b>   |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| PROFUNDIDAD (m)   | 0 - 20              |                                   | 20 - 40                             |   | Lamina Aplicada                     |
| Nº Muestra  | Antes (W1)          | Final (W2)                        | Antes (W1)                          | Final (W2)                                    | La = (cm)                           |
| 1   | 9.99                | 17.02                             | 12.86                               | 19.48   | 2.14                                |
| 2   | 10.86               | 14.22                             | 11.10                               | 14.92   | 1.44                                |
| 3   | 10.01               | 17.88                             | 12.74                               | 17.00   | 2.46                                |
| 4   | 9.84                | 16.32                             | 13.62                               | 15.90   | 1.75                                |
| 5   | 11.57               | 20.45                             | 14.12                               | 19.23   | 2.90                                |
| W1 = Medir antes del riego  |                     |                                   |                                     |   | Lap = lámina de aplicación promedio |
|   |                     |                                   |                                     |   | La (m) = 0.0211                     |
| W2 = Medir después de 24 horas del riego  |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| <b>IV. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b>  |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Determinación del volumen de entrada a la parcela (Ve)                                    |                     |                                   | Ve =                                | 5.94 m <sup>3</sup>                           |                                     |
| Determinación del volumen de aplicado (Va)  |                     |                                   | Vap =                               | 2.28 m <sup>3</sup>                           |                                     |
| Determinación de la pérdida por escurrimiento (Vpe)                                       |                     |                                   | Vpe =                               | 0.81 m <sup>3</sup>                           |                                     |
| Determinación de la pérdida por viento (Vpv)  |                     |                                   | Vpv =                               | 0.00 m <sup>3</sup>                           |                                     |
| Determinación de la pérdida por percolación (Vpp)   |                     |                                   | Vpp =                               | 2.85 m <sup>3</sup>                           |                                     |
| <b>V. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN</b>                                    |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| $Ea = \frac{Va}{Ve} * 100 = \frac{Ve - (Vpe + Vpv + Vpp)}{Ve} * 100$                      |                     |                                   |                                     |   |                                     |
| Ea = 38.44 %  |                     |                                   |                                     |   |                                     |

Cuadro 22: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión VYR 37

| ENSAJO DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN                             |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
|---|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|---|--|--|-------------------------------------|-----------------|
| <b>I. DATOS GENERALES</b>   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Departamento :  | Cusco                | Evaluador :                         | Edwin Portillo Valesco Saquilros |                |   |  |  |                                     |                 |
| Provincia :   | La Convención        | Fecha de evaluación :               | 10/07/2013                       |                |   |  |  |                                     |                 |
| Distrito :  | Echarati             | Cultivo :                           | Cacao CCN 51                     |                |   |  |  |                                     |                 |
| Propietario :   | Crispin Jairo Mescco | Área parcela (m <sup>2</sup> ) :    | 10000                            |                |   |  |  |                                     |                 |
| <b>Datos del Aspersor :</b>   |                      | <b>Datos de la línea de riego :</b> |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Dímetro de Boreholes (mm) :   | 4.4 x 2.4            | Nº de aspersores :                  | 2                                |                |   |  |  |                                     |                 |
| Marcha aspersores :   | VYR 37               | Tipo de línea :                     | Manguera de PE C-10              |                |   |  |  |                                     |                 |
| Materia :   | Plástico             | Longitud de la línea (m) :          | 100                              |                |   |  |  |                                     |                 |
| CU :  | 89%                  | Díámetro de la línea (pulg) :       | 3/4"                             |                |   |  |  |                                     |                 |
|   |                      | Tamaño de alfileros (m) :           | 1.00                             |                |   |  |  |                                     |                 |
| <b>II. CONTROL DE TIEMPOS Y CAUDALES DE RIEGO</b>   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
|   | Hora                 | Tiempo Riego = T                    | Tiempo escurrimiento = te        |                |   |  |  |                                     |                 |
| Hora de inicio :  | 08:00:00 a.m.        | Horas                               | Horas                            |                |   |  |  |                                     |                 |
| Hora de término :   | 11:30:00 a.m.        | 3.30                                | 0.50                             |                |   |  |  |                                     |                 |
| Medir el caudal de ingreso (inicial y final) de la línea (suma de caudales de aspersores) |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Medir la presión cada al inicio y al final de la prueba                                   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Nº MEDICION   | Caudal de INGRESO    | Presión (bar)                       | Caudal de SALIDA                 | Hora de cambio |   |  |  |                                     |                 |
| 1 = 20 min  | 0.50                 | 2.40                                |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| 2 = 120 min   | 0.50                 | 2.40                                | 0.42                             | 11:30:00       |   |  |  |                                     |                 |
| PROMEDIO (l/s)  | 0.50                 |                                     | 0.42                             |                |   |  |  |                                     |                 |
| PROMEDIO (m <sup>3</sup> /hr)   | 1.80                 |                                     | 1.51                             |                |   |  |  |                                     |                 |
|   |                      |                                     | Dato del aforador                |                |   |  |  |                                     |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                | Díámetro de mojado (m) : 15                       |  |  |                                     |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                | Rev. por minuto del espesor : 1                   |  |  |                                     |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                | Golpes/minuto del martillo del espesor : 80       |  |  |                                     |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                | Área zona de pluviómetros (m <sup>2</sup> ) : 108 |  |  |                                     |                 |
| <b>III. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (cm)</b>   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| PROFUNDIDAD (m)   | 0 - 20               |                                     |                                  |                | 20 - 40   |  |  |                                     | Lámina Aplicada |
| Nº Muestra  | Antes (W1)           | Final (W2)                          | Antes (W1)                       | Final (W2)     |   |  |  | La = (cm)                           |                 |
| 1   | 8.85                 | 15.02                               | 13.40                            | 15.90          |   |  |  | 1.87                                |                 |
| 2   | 9.95                 | 13.22                               | 12.10                            | 14.78          |   |  |  | 1.19                                |                 |
| 3   | 10.12                | 16.32                               | 13.57                            | 16.84          |   |  |  | 1.89                                |                 |
| 4   | 10.10                | 14.68                               | 14.81                            | 15.72          |   |  |  | 1.10                                |                 |
| 5   | 11.40                | 18.65                               | 14.75                            | 18.32          |   |  |  | 2.16                                |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  | Cap = lámina de aplicación promedio |                 |
|   |                      |                                     |                                  |                |   |  |  | La (m) = 0.0180                     |                 |
| W1 = Medir antes del riego  |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| W2 = Medir después de 24 horas del riego  |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| <b>IV. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b>  |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Determinación del volumen de entrada a la parcela (Ve)                                    |                      |                                     |                                  | Ve =           | 5.94 m <sup>3</sup>                               |  |  |                                     |                 |
| Determinación del volumen de aplicado (Va)  |                      |                                     |                                  | Vap =          | 1.73 m <sup>3</sup>                               |  |  |                                     |                 |
| Determinación de la pérdida por escurrimiento (Vpe)                                       |                      |                                     |                                  | Vpe =          | 0.76 m <sup>3</sup>                               |  |  |                                     |                 |
| Determinación de la pérdida por viento (Vpv)  |                      |                                     |                                  | Vpv =          | 0.00 m <sup>3</sup>                               |  |  |                                     |                 |
| Determinación de la pérdida por percolación (Vpp)   |                      |                                     |                                  | Vpp =          | 3.45 m <sup>3</sup>                               |  |  |                                     |                 |
| <b>V. DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN</b>                                    |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| $Ea = \frac{Va}{Ve} * 100 = \frac{Ve - (Vpe + Vpv + Vpp)}{Ve} * 100$                      |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |
| Ea = 29.16 %  |                      |                                     |                                  |                |   |  |  |                                     |                 |

Cuadro 23: Ensayo de la eficiencia de aplicación del riego por aspersión VYR 70

| ENSAYO DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN                             |                     |                                  |   |                |                 |
|---|---------------------|----------------------------------|---|----------------|-----------------|
| <b>I. DATOS GENERALES</b>   |                     |                                  |   |                |                 |
| Departamento :  | Cuzco               | Proveedor :                      | Edwin Porfirio Velasco Segura                 |                |                 |
| Provincia :   | La Convención       | Fecha de evaluación :            | 18/07/2013                                    |                |                 |
| Distrito :  | Echarati            | Cultivo :                        | Cajano CCA 51                                 |                |                 |
| Proprietario :  | Crispin Julio Mesco | Área parcela (m <sup>2</sup> ) : | 10000   |                |                 |
| <b>Datos del Aspersor :</b>   |                     |                                  | <b>Datos de la línea de riego :</b>           |                |                 |
| Dímetro de boquilla (mm) :  | 4.8 x 3.2           | Nº de aspersores :               | 2   |                |                 |
| Marca aspersores :  | VYR 70              | Tipo de línea :                  | Manguera de PE C-10                           |                |                 |
| Materiales :  | Bronce              | Longitud de la línea (m) :       | 100   |                |                 |
| Cu :  | 90%                 | Dímetro de la línea (pulg.) :    | 3/4"  |                |                 |
|   |                     | Tamaño de alfileres (mg) :       | 1.00  |                |                 |
| <b>II. CONTROL DE TIEMPOS Y CAUDALES DE RIEGO</b>   |                     |                                  |   |                |                 |
| Horas   |                     | Tiempo Riego = T                 | Tiempo escurrimiento = te                     |                |                 |
| Hora de inicio :  | 08:30:00 a.m.       | Horas                            | Horas   |                |                 |
| Hora de término :   | 10:00:00 a.m.       | 3.30                             | 0.60  |                |                 |
| Medir el caudal de ingreso (Inicial y final) de la línea (suma de caudales de aspersores) |                     |                                  |   |                |                 |
| Medir la presión cada el inicio y el final de la prueba                                   |                     |                                  |   |                |                 |
| Nº MEDICIÓN   | Caudal de INGRESO   | Presión (bar)                    | Caudal de SALIDA                              | Hora de cambio |                 |
| 1 = 20 min  | 0.72                | 3.00                             |   |                |                 |
| 2 = 120 min   | 0.72                | 3.00                             | 0.95  | 11:30:00       |                 |
| PROMEDIO (l/s)  | 0.72                |                                  | 0.95  |                |                 |
| PROMEDIO (m <sup>3</sup> /hr)   | 2.60                |                                  | 2.94  |                |                 |
|   |                     |                                  | Dato del aforador                             |                |                 |
|   |                     |                                  | Dímetro de mojado (m) :                       | 15             |                 |
|   |                     |                                  | Rev. por minuto del aspersor :                | 1              |                 |
|   |                     |                                  | Golpes/minuto del martillo del aspersor :     | 90             |                 |
|   |                     |                                  | Área zona de pluviómetros (m <sup>2</sup> ) : | 108            |                 |
| <b>III. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (cm)</b>   |                     |                                  |   |                |                 |
| PROFUNDIDAD (m)   | 0 - 20              |                                  | 20 - 40                                       |                | Lámina Aplicada |
| Nº Muestra  | Antes (W1)          | Final (W2)                       | Antes (W1)                                    | Final (W2)     | La (cm)         |
| 1   | 9.75                | 15.30                            | 14.10   | 17.34          | 1.78            |
| 2   | 9.97                | 16.47                            | 13.57   | 16.45          | 2.28            |
| 3   | 11.54               | 16.91                            | 14.05   | 19.78          | 2.22            |
| 4   | 12.37               | 18.43                            | 15.04   | 20.21          | 2.13            |
| 5   | 11.14               | 22.00                            | 15.09   | 22.14          | 3.70            |
| W1 = Medir antes del riego  |                     |                                  | Lap = lámina de aplicación promedio           |                | La (m) = 0.0242 |
| W2 = Medir después de 24 horas del riego  |                     |                                  |   |                |                 |
| <b>IV. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b>  |                     |                                  |   |                |                 |
| Determinación del volumen de entrada a la parcela (Ve)                                    |                     | Ve =                             | 8.55 m <sup>3</sup>                           |                |                 |
| Determinación del volumen de aplicado (Va)  |                     | Vap =                            | 2.61 m <sup>3</sup>                           |                |                 |
| Determinación de la pérdida por escurrimiento (Vpe)                                       |                     | Vpe =                            | 1.17 m <sup>3</sup>                           |                |                 |
| Determinación de la pérdida por viento (Vpv)  |                     | Vpv =                            | 0.00 m <sup>3</sup>                           |                |                 |
| Determinación de la pérdida por percolación (Vpp)   |                     | Vpp =                            | 4.77 m <sup>3</sup>                           |                |                 |
| <b>V. DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN</b>                                    |                     |                                  |   |                |                 |
| $Ea = \frac{Va}{Ve} * 100 = \frac{Ve - (Vpe + Vpv + Vpp)}{Ve} * 100$                      |                     |                                  |   |                |                 |
| Ea = 30.51 %  |                     |                                  |   |                |                 |

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 RESULTADOS.

#### 4.1.1 Pruebas de infiltración.

El resultado de las pruebas de infiltración con los anillos concéntricos o infiltrómetro, nos determinó la velocidad de infiltración cuyos resultados se muestra a continuación:

Cuadro 24: Resultados de pruebas de infiltración con anillos concéntricos.

| Parcela o Sector de riego | Numero de ensayos | Infiltración Básica mm/h |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|
|                           | Ensayo 1          | 11.29                    |
|                           | Ensayo 2          | 12.85                    |
|                           | Ensayo 3          | 11.93                    |
|                           | <b>Promedio</b>   | <b>12.02</b>             |

Fuente: Elaboración propia.

Lo que nos indica que corresponde a una infiltración lenta

- Los resultados obtenidos de los parámetros agronómicos y los índices de riego se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 25: Resultados obtenidos.

| PARÁMETROS AGRONÓMICOS             | UNIDAD DE MEDIDA |
|------------------------------------|------------------|
| Capacidad de campo                 | 18,85 %          |
| Punto de marchitez                 | 10,23 %          |
| Densidad Aparente                  | 1,3 g/cc         |
| profundidad radicular efectiva     | 0,40 m           |
| Nivel de agotamiento permisible    | 8,60 %           |
| Evapotranspiración potencial       | 4,09 mm/día      |
| Evapotranspiración del cultivo     | 4,3 mm/día       |
| Eficiencia de aplicación del riego | 80%              |
| Caudal disponible                  | 1,5 l/s          |
| INDICES DE RIEGO                   | UNIDAD DE MEDIA  |
| Lamina neta                        | 44,72 mm         |
| lamina bruta                       | 68,80 mm         |
| Consumo diario                     | 4,09 mm/día      |
| Frecuencia de riego                | 11 días          |
| Numero de riegos por mes           | 3 riegos/mes     |
| Tiempo de riego                    | 3,30 horas       |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Coeficiente de uniformidad.

El coeficiente de uniformidad de los tres módulos de riego en estudio se muestra a en el cuadro siguiente.

Cuadro 26: Coeficientes de uniformidad en los tres módulos.

| MODELO DEL ASPERSOR | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN |
|---------------------|--|
| VYR 35              | 84.45%                                     |
| VYR 37              | 77.85%                                     |
| VYR 70              | 80.05%                                     |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 25 de acuerdo al orden de méritos en la evaluación realizada de coeficiente de uniformidad, el modelo de aspersor **VYR - 35** presenta un mejor coeficiente con 84.45%, frente a los demás modelos de aspersor considerado como valor aceptable al recomendado por Keller y Bliesner (1990) que tiene como umbral mínimo (80%).

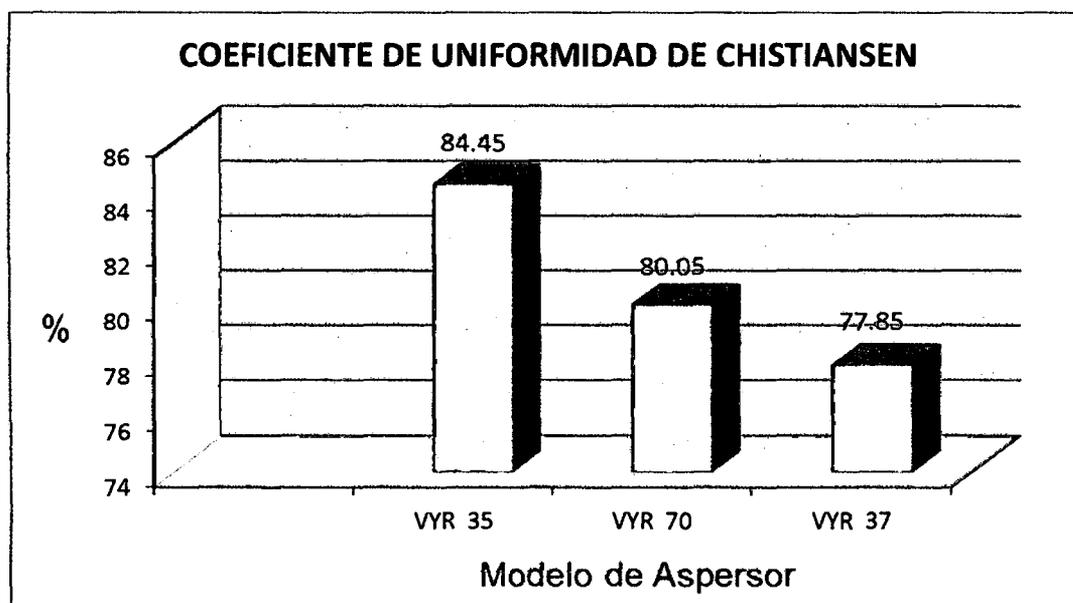


Figura N° 9: Coeficiente de Uniformidad de Christiansen de aspersores evaluados.

### 4.1.3 Eficiencia de aplicación.

De la eficiencia de aplicación realizada en los tres modelos de aspersores se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 27: Eficiencia de aplicación en los tres módulos.

| MODELO DEL ASPERSOR | EFICIENCIA DE APLICACIÓN |
|---------------------|--------------------------|
| VYR 35              | 38.44%                   |
| VYR 37              | 29.16%                   |
| VYR 70              | 30.51%                   |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 27 de acuerdo al orden de méritos en la evaluación realizada de eficiencia de aplicación, el modelo de aspersor VYR - 35 presenta una mejor eficiencia de aplicación 38.44 %, seguido del aspersor VYR - 70 con una eficiencia de aplicación de 30.51%.

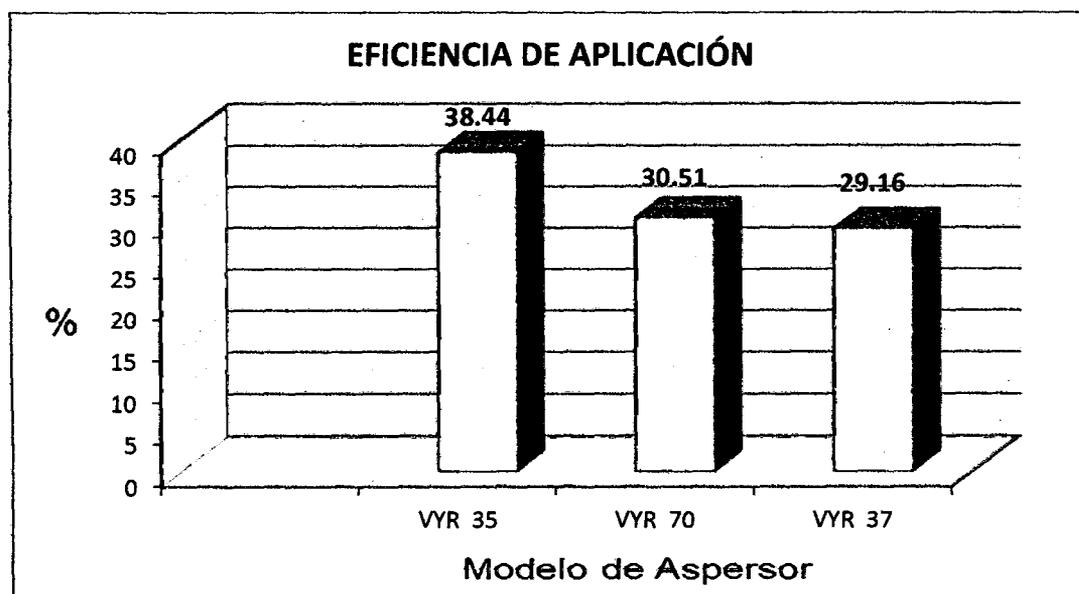


Figura N° 10: Eficiencia de Aplicación de aspersores evaluados.

En el cuadro 28, se puede observar los resultados del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación, donde se aprecia que el aspersor VYR – 35, tanto para coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación presenta los mejores promedios.

Cuadro 28: Coeficientes de uniformidad y eficiencia de aplicación.

| MODELO DEL ASPERSOR | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN | EFICIENCIA DE APLICACIÓN |
|---------------------|--|--------------------------|
| VYR 35              | 84.45%                                     | 38.44%                   |
| VYR 37              | 77.85%                                     | 29.16%                   |
| VYR 70              | 80.05%                                     | 30.51%                   |

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al golpe de Ariete mejor resistencia y menos daño causa al impacto del agua muestran los modelos de aspersores que están fabricados con material de metal en este caso el VYR 35 y VYR 70 que son de bronce son los mejores.

## 4.2 DISCUSIÓN.

En el presente ítem se ilustra los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas de coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en los tres modelos de aspersores evaluados en la tesis “EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE RIEGO EN TRES MÓDULOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DEL CACAO, EN EL SECTOR DE MARANNIYOC- ECHARATI”

Respecto a la evaluación del coeficiente de uniformidad de los tres módulos de riego en estudio se determinó que el modelo de aspersor VYR 35 obtuvo el mayor coeficiente de uniformidad con 84.45%, el modelo de aspersor que presentó el menor coeficiente de uniformidad fue el aspersor VYR 37 con 77.85%, tal como se muestra en el cuadro 23.

En la evaluación realizada respecto a la eficiencia de aplicación en los tres modelos de aspersores, los resultados muestran que el aspersor VYR 35 presenta la mayor eficiencia de aplicación con 38.44%, tal como se muestra en el cuadro 24.

María Isabel Mendoza Vera y Wellington Lizardo Rodríguez Zambrano (2002) en estudio realizado “EVALUACIÓN POST - IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ESPAM – MFL”, reporta un coeficiente de Uniformidad de Christiansen relativamente alto (97%).

Respecto a la evaluación eficiencia de sistemas de riego por aspersión, este presenta una eficiencia media (63%), lo cual se atribuye a los obstáculos, como las hojas del cacao, tallos de plátano y al fuerte viento presente en la zona.

Cárdenas (2009) en la Evaluación de la Uniformidad de Aplicación de Riego en Cinco Modelos de Aspersores, reporta los siguientes resultados;

Los aspersores evaluados fueron VYR 70, VYR 65 S, VYR 35, VYR 70 V y SOMLO 40 C, el que presenta mayor coeficiente de uniformidad con un valor de 79 % es el VYR 65 S.

Asimismo la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión en las parcelas son las siguientes: VYR 70 24.36, VYR 65 S 31.92, VYR 35 18.19, VYR 70 V 16.64 y SOMLO 40 C, por lo que considera como eficiente al aspersor VYR 65 S con el valor de 31.92 %

Huamán Delgado (1999) en la “Evaluación de la Eficiencia de Riego Parcelario en Cultivos Perennes en Echarati-LC – Cusco” llegó a los siguientes resultados.

En el sector de Pampa Echarati con el riego que efectúan llegan a obtener una eficiencia de riego parcelario de 26.86% para el cultivo del Café y 24.11 % en los cultivos de cacao y cítricos.

En el sector de Calcapampa con el riego que efectúan llegan a obtener una eficiencia de riego parcelario de 43.97 % en el cultivo de café y de 39.65 % en los cultivos de cacao y cítricos.

En los canales del sistema de Riego de Echarati las eficiencias de conducción están entre 80% a 89%, las eficiencias de distribución entre 39% a 59%, la eficiencia del subsistema de Pampa Echarati de 17% y la eficiencia de riego del sub sistema de Calcapampa de 32%.

En el sector de Pampa Echarati las dosis de riego para los cultivos de cacao y cítricos fue de 1810.00 m<sup>3</sup>/ha/riego y de 1008.00 m<sup>3</sup>/ha/riego para el cultivo del café.

En el Sector de Calcapampa la dosis de riego para los cultivos de cacao y cítricos fue de 1895.00 m<sup>3</sup>/ha y para el cultivo de café de 1160 m<sup>3</sup>/ha.

LUIS RAMON RAZURI RAMIREZ (1974), en la tesis “EVALUACION DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGO CARIACO – ESTADO DE SUCRE”

El CU en 35 pruebas realizadas, dio un valor promedio de CU= 63.9% que es muy inferior al valor de CU = 80.0%, considerado como límite inferior para una aceptable distribución del agua.

La eficiencia de aplicación del área de prueba, reporta en promedio 36.55%, lo que evidencia también el mal uso del equipo.

## V. CONCLUSIONES.

Del trabajo de tesis realizado podemos establecer las siguientes conclusiones:

1. El aspersor VYR 35, es el que obtuvo un coeficiente de uniformidad de 84.85 %, superior a los aspersores VYR 37, VYR 70 con coeficientes de 77.85 %, y 80.05 % respectivamente, encima del nivel de especificación técnica de fabricación que tiene un coeficiente de 83.
2. El modelo de aspersor VYR 35, tiene mayor eficiencia de aplicación con un promedio de 38.44 %, siendo superior a los aspersores VYR 37 y VYR 70 que presentan promedios de 29.16 % y 30.51 % respectivamente.
  - La frecuencia de riego para el cultivo de cacao CCN 51 tipo de cacao injertado es de 11 días. El número de riegos por mes es de tres con un tiempo de riego de tres horas y media lo mismo que tienen que ser en horas de la mañana desde las seis o siete de la mañana o por la tarde a partir de las diecisiete horas.
  - El elevador del aspersor debe ser de un metro y medio ya que el cultivo en estudio no supera los tres metros y el chorro de altura de agua es de 2.4 m.
3. En cuanto al volumen de agua que necesita el cultivo se determinó una lámina neta de riego de 44.72 mm y una lámina bruta de 68.80 mm, se sabe que la profundidad radicular efectiva es de 40 cm
4. La mojadura de la rizósfera para el cultivo en estudio (cacao - CCN 51), es de 3.30 horas de riego, con 15 metros de diámetro de mojado y traslape de 1 metro y con una presión de 2 bares en cada aspersor VYR 35.

## VI. RECOMENDACIONES.

- En este caso para el cultivo del cacao CCN 51 según los resultados obtenidos se recomienda el uso del aspersor VYR 35 con elevador metálico de 1 metro con un marco de riego de 14 x 14 triangular con un traslape de un metro.
- Por la eficiencia de aplicación obtenido se debe regar con el aspersor VYR 35 y siempre respetando los índices de riego en este caso regar 3.30 horas por las mañanas desde las 6.00 horas o en las tardes a partir de las 17 horas, cada 11 días.
- Se debe tener mucho cuidado de que el chorro de altura de agua sea superior a los 3 m para evitar dañar la inflorescencia del cultivo, las gotas de agua deben caer en forma de lluvia menuda hacia las hojas del cultivo y de ahí al suelo.
- No exceder en el tiempo de riego ya que el cultivo del cacao es higroscópico y sensible a las enfermedades de tipo fungosas producidas por exceso de humedad.
- La raíz del cultivo de cacao es de tipo pivotante y las raíces secundarias son las que se distribuyen en las partes adyacentes superficiales por lo que absorben rápidamente la necesidad hídrica para el buen desarrollo de la planta.
- En los métodos de riego a presión y por aspersión se obtendrán buenos resultados cuando la causa sea la mayor experiencia y conocimiento de la parcela, para realizar el diseño agronómico adecuado para un determinado cultivo.
- Al considerarse este último aspecto se podrá decir que la eficiencia del riego depende tanto de las condiciones del suelo y cultivo, como del factor humano, es decir, su experiencia en el manejo del agua para las condiciones de la parcela específica y con el conocimiento de la infraestructura del sistema de riego con que cuenta.

- Es importante considerar el tiempo efectivo de riego es decir la oportunidad que posee el agua para infiltrar hasta la parte de mojadura de la raíz; Este factor depende de las propiedades físicas del suelo tales como estructura, textura y porosidad.
  
- Para realizar el riego en cualquier otro tipo de cultivo es necesario realizar el estudio del diseño agronómico e hidráulico y así optimizar el uso del recurso hídrico y el desarrollo adecuado del cultivo.

## VII. RESUMEN.

El presente trabajo intitulado: **EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA DE RIEGO EN TRES MÓDULOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DEL CACAO, EN EL SECTOR DE MARANNIYOC- ECHARATI** se realizó desde mayo del 2013 hasta octubre del mismo año, en el sector indicado que cuenta con el proyecto Instalación del sistema de riego tecnificado por aspersión ejecutado por la Municipalidad Distrital de Echarati, Provincia de La Convención. El objetivo de la investigación fue Evaluar la uniformidad y la eficiencia de riego entre módulos de riego por aspersión en el cultivo del cacao. Se utilizó el tipo de investigación experimental con la manipulación de dos variables independientes: la uniformidad y la eficiencia y tres variables dependientes: los aspersores VYR 35, 37 y 70, con una metodología cuantitativa, se hizo la evaluación y determinación del diseño agronómico para el cultivo en estudio, estos parámetros fueron: la capacidad de campo, el punto de marchitez, la densidad aparente, la profundidad radicular efectiva, el nivel de agotamiento permisible, la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración del cultivo así mismo se calculó los índices de riego como la lámina neta y bruta, el consumo diario, la frecuencia de riego, el número de riegos por mes y el tiempo de riego. El método empleado fue la ejecución de las pruebas por área de aspersión. En la determinación de necesidades hídricas del cultivo se utilizaron los datos hidrometeoro lógicos provenientes del programa CLIMWAT 2.0. Así mismo se hizo el análisis de suelo de la parcela en estudio los que fueron remitidos por COCLA y nos permitió calcular los parámetros del diseño agronómico. Las dosis de riego para el cultivo del cacao en estudio fue de 3.30 horas por tres turnos al mes. Los resultados muestran que existen diferencias entre los módulos evaluados y que el módulo de riego con el aspersor VYR 35, con elevador de 1 metro y medio es el que mejores resultados proporciona con un coeficiente de uniformidad de 84.45 % y una eficiencia de riego de 38.44 %, por lo que para el cacao en estudio en este caso de la variedad CCN 51 en el sector de Maranniyoc- Echarati, se recomienda la utilización del aspersor VYR 35 con los parámetros indicados.

## VIII. BIBLIOGRAFIA.

- ☞ BATISTA, L. 2009. Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, p 250.
- ☞ CALDERON, F. L. 1999. Manual de Riego por Aspersión en los andes. IMA. Cusco- Perú.
- ☞ CARDENAS, A. S. R. 2009. Evaluación de la uniformidad de aplicación de riego en cinco modelos de aspersores en el cultivo de naranjo *Citrus sinensis* L.; Proyecto Pampa Concepción, Tesis, Ingeniero Agrónomo Tropical, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, FACAT.
- ☞ CASTAÑÓN, G. 2000. Ingeniería del riego Utilización Racional del Agua, Thomson Editores Spain, Madrid España.
- ☞ CASTRO, D. 2012. Ingeniería Mecánica, Mecánica de suelos I, Instituto Superior de Valladolid.
- ☞ CHILDEN, G. 1996. Los orígenes de la civilización. Ediciones fondo de Cultura Económica.
- ☞ DELGADO, CH. F. LUZA P. D. 1997. Proyecto de Riego por Aspersión en la Comunidad de Pata Pata – Lircay. Tesis, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. FAZ.
- ☞ DURANGO, J. 2001. Compendio de Información relevante sobre aspectos de seguridad alimentaria en Manabí. PESAE. Quito Ecuador.
- ☞ ENRÍQUEZ, G. 2004. Cacao orgánico. Guía para productores ecuatorianos. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Manual N° 54. Quito, Ecuador, p 360.
- ☞ FUENTES J. 2003. Técnicas de Riego. Cuarta edición. Ministerio de Agricultura y Pesca. Mundi-prensa. Madrid-España.
- ☞ GARCIA C. I.; BRIONES S. G.; 1997. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo. Trillas Editorial S.A. México.
- ☞ GONZÁLEZ, P. 2007. Introducción al riego y drenaje. Instituto de Investigaciones del Riego y Drenaje. Cuba.

- ☞ GOYAL, M. 2007. Manual de riego por goteo. Capítulo 4: El riego por aspersión, Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez, PO Box 5984, Mayagüez. Puerto Rico 00681-5984 p.99.
- ☞ GASSI, C. 1996. Operación y conservación de sistemas de riego. Material de enseñanza CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- ☞ GUROVICH R. L. 1999. Riego superficial tecnificado 2da edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Impreso en México.
- ☞ HUAMAN, D. A. 1999. Evaluación de riego parcelario en cultivos perennes en Echarati – La Convención. Ingeniero Agrónomo Tropical, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, FACAT.
- ☞ ICCO. 2003. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Programa de enseñanza para el desarrollo y la conservación. Escuela de postgrado. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao*). Seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE, p. 23
- ☞ ICT. 2004. Instituto de Cultivos Tropicales. Manejo Integrado del cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonia Peruana. Tarapoto San Martín – Perú. 1ra. Edición Mayo – 2004. p184.
- ☞ INIAP. 1993. Manual del cultivo de cacao. 2a ED. Corregida y Aumentada. EET Pichilingue, Quevedo, Ecuador. Manual N° 25, p. 135.
- ☞ JIMÉNEZ, J. 2003. Eficiencia de riego por aspersión en condiciones de ladera en la parte baja de la microcuenca de Mishka Mayu. Tesis de ingeniero Agrícola. Universidad Mayor San Simón. Cochabamba. Bolivia. p. 92
- ☞ KELLER. J. BLIESNER, R. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. Journal, bras. Eng. Agic. Ambient. Campina Grande. USA. Vol. 14. N° 1. p. 652.
- ☞ LEÓN, J. 2000. Botánica de los Cultivos Tropicales. Tercera edición. San José, C. R. IICA. p 678.
- ☞ LUJAN, G. J. 1992. Eficiencia del Riego. Editorial Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid- España.
- ☞ MENDOZA, V. M. I. RODRIGUEZ, Z. W. L. 2002. Evaluación post- implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo del cacao.

- ☞ MONTERO, J. 2000. Análisis de la Distribución de Agua en el Sistema de Riego por Aspersión Estacionario. Universidad de Castilla. La Mancha. Revista, AGOS 35. Vol.3. N° 46. p. 125.
- ☞ MOYA, J. 2000. Riego localizado y Fertirrigación. 3ª edición. Ministerio de agricultura alimentación y pesca Madrid- España.p.323-327.
- ☞ NAVARRO, P. 2006. Guía técnica para promotores, cultivo de cacao en sistemas agroforestales, p. 12.
- ☞ OLARTE, H. W. 1987. “Manual de Riego por Gravedad” Editorial CCTA- Comisión de Coordinación de Tecnología Andina. Cusco Perú.
- ☞ OLARTE H. W. 2003. Manual Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas. PROYECTO MASAL.
- ☞ PAREDES A. M., 2001. Rehabilitación – Renovación en Cacao, Convenio USAID/CONTRADROGAS, Lima.
- ☞ PAREDES, A. 1983. El cultivo del cacao. Editorial EUNED. Costa Rica publicaciones UNED Costa Rica. P 17-18.
- ☞ RAZURI, R. L. R.; 1974. Evaluación de coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación de agua en el sistema de riego Cariaco – Estado de Sucre.
- ☞ SANCHEZ, R. C. 2005. Sistemas de riego, uso, manejo e instalación. Ediciones RIPALME, p 17
- ☞ TARJUELO M.J. M. 1999. El Riego por aspersión y su Tecnología ediciones Mundi-Prensa impreso en España, p 61-78.
- ☞ VALVERDE, J. C. 2007. Riego y Drenaje. Universidad Estatal A Distancia. San José, Costa Rica.
- ☞ VARGAS, A. F. 1997. Diseño e Implementación de tres Módulos de Riego por Aspersión en la Convención y Lares. Tesis, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- ☞ VASQUEZ V. A. CHANG-NAVARRO L. L. 1988. Principios Básicos del Riego. UNALM, CONCYTEC, IRRICENT. Lima – Perú.

- ☞ VERA, J. 1993. Material de siembra y propagación. In manual del cultivo de cacao, 2da edición. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito-Ecuador. p 24-37.
- ☞ VICENTE, P. M. 2001. Prácticas de edafología y climatología. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, p. 33.
- ☞ VITORINO P. R. 1998. Evaluación de la uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión en laderas. Tesis, Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú.

# **ANEXOS**



Figura N° 11: Medición de la parcela para colocación del módulo de aspersión antes del riego.

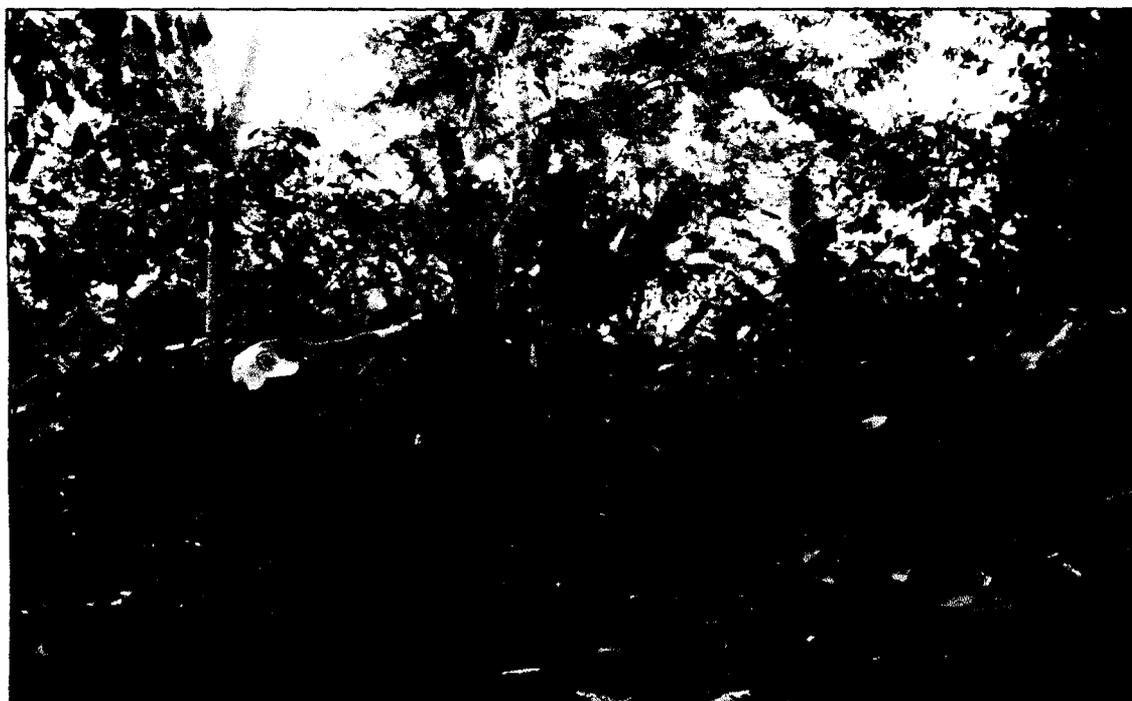


Figura N°12: Delimitación de la parcela en estudio



Figura N° 13: Funcionamiento del aspersor VYR 70.



Figura N° 14: Funcionamiento del aspersor VYR 35.



Figura N° 15: Funcionamiento del aspersor VYR 37.



Figura N° 16: Recojo de la muestra de suelo para pesado en pruebas de infiltración.



Figura N° 17: Realización de las pruebas de eficiencia de los aspersores.



Figura N° 18: Medición de la presión de salida de agua del aspersor.



Figura N° 19: Medición de la pluviometría de los aspersores.



Figura N° 20: Funcionamiento de los aspersores para las pruebas de uniformidad



Producers and Exporters of Coffee

WEB SITE: www.coclaperu.com / E-mail: cocle@coclaperu.com

LIMA: Calle 4 Mz. "D", Lote 4 / Urb. Grimanesa - Callao - Perú - Telf. (51) 15720519 - (51) 15725295 - Fax. (51) 15725070

## ANALISIS DE SUELOS

### PROCEDENCIA:

Nombre del Solicitante: Edwin Porfirio Velasco Sequeiros      REF: 001  
 Distrito: Echarati      Cultivo: Cacao  
 Sector: Maranniyoc      Fecha: 29 - 06 - 2013

### RESULTADO DEL ANALISIS

| ANALISIS MECANICO |        |           | Clase Textural | pH   | N %  | P ppm | K ppm | M.O. % | Toxicidad Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup> me/100g |
|-------------------|--------|-----------|----------------|------|------|-------|-------|--------|---|
| Arena %           | Limo % | Arcilla % |                |      |      |       |       |        |   |
| 62.02             | 41.0   | 17.03     | Fr-Ar.         | 5.39 | 0.05 | 4.86  | 3.91  | 1.09   | 3.4   |

A = Arena; A.Fr = Arena Franca; Fr.A. = Franco Arenoso; Fr. = Franco; Fr.L. = Franco Limoso; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso; Fr.Ar. = Franco Arcilloso; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso; Ar.A. = Arcillo Arenoso; Ar.L. = Arcillo Limoso; Ar. = Arcilloso

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### MATERIA ORGÁNICA

|              |   |
|--------------|---|
| Bajo (<2%)   | X |
| Medio (2-4%) |   |
| Alto (>4%)   |   |

#### REACCIÓN DEL SUELO (PH)

|                     |   |
|---------------------|---|
| Muy Acido (<5.5)    | X |
| Acido (5.6-6.5)     |   |
| Neutro (6.6-7.3)    |   |
| Alcalino (7.4-8.4)  |   |
| Muy alcalino (>8.6) |   |

#### POTASIO

|                    |   |
|--------------------|---|
| Bajo (< 70 ppm)    | X |
| Medio (70-140 ppm) |   |
| Alto (> 140 ppm)   |   |

#### NITRÓGENO

|                  |   |
|------------------|---|
| Bajo (< 0.1%)    | X |
| Medio (0.1-0.2%) |   |
| Alto (> 0.2%)    |   |

#### ACIDEZ CAMBIABLE

|           |   |
|-----------|---|
| Peligroso | X |
| Normal    |   |

#### FÓSFORO

|                    |   |
|--------------------|---|
| Bajo (< 7 ppm)     | X |
| Medio (7 - 20 ppm) |   |
| Alto (> 20 ppm)    |   |



CENTRAL COCLA LTDA. N° 0561  
 DEPARTAMENTO TÉCNICO  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS  
 ELIAZAR CANALES PAUCAR  
 RESPONSABLE

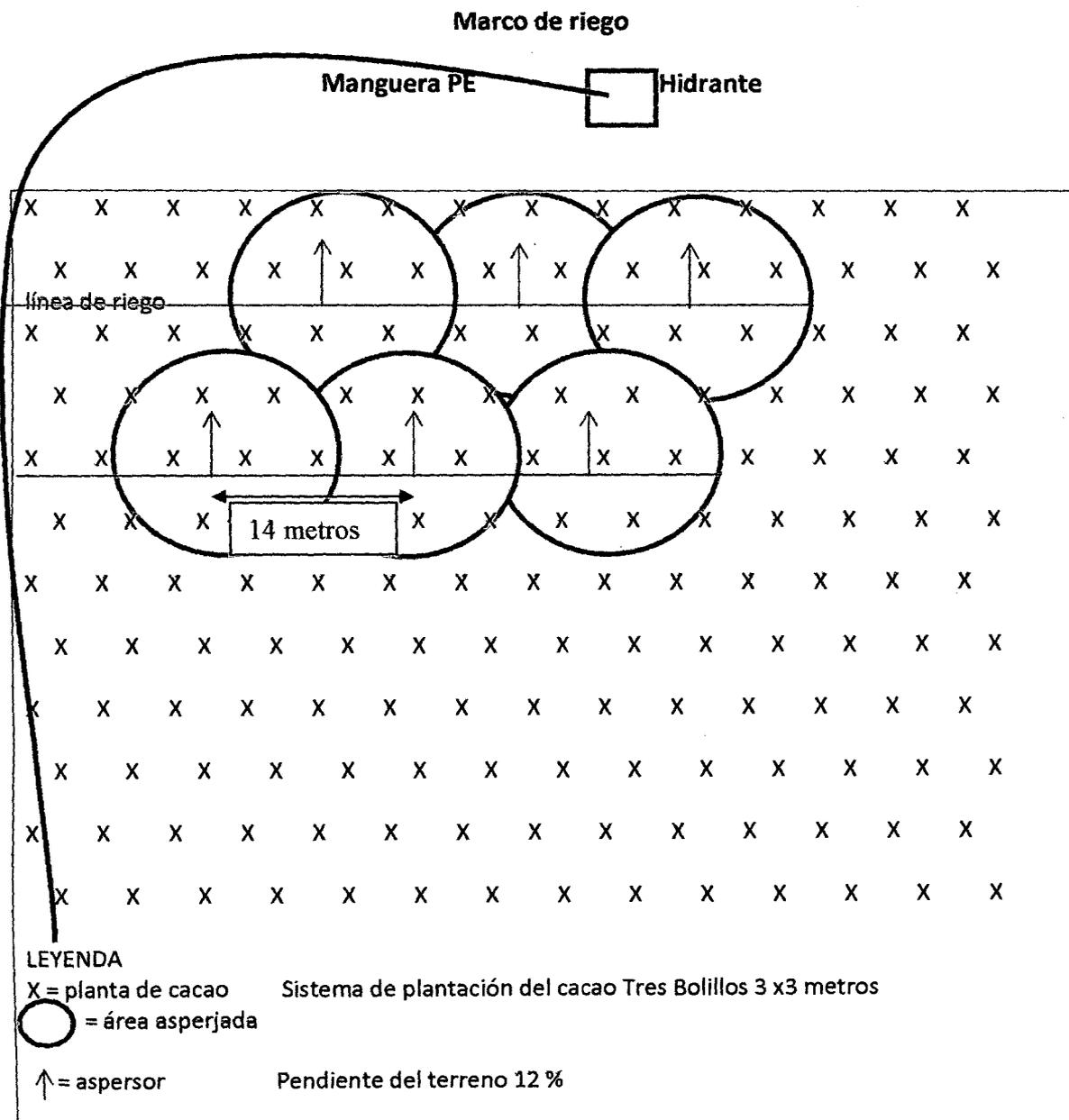


Figura 21; Croquis parcelario