

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN
LOS USUARIOS DE LAS COMUNIDADES DE MORAN ALTO Y APÁN BAJO DE LA
PROVINCIA DE HUALGAYOC BAMBAMARCA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

SEGUNDO HUMBERTO ROJAS BARDALES

ASESOR:

Ing. José Lizandro Silva Mego

CAJAMARCA - PERÚ

Universidad Nacional de Cajamarca

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
"Norte de la Universidad Peruana"



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
Departamento Académico de Agronomía
Cajamarca - Perú Telefax 0051-044825846 Anexos 107-108



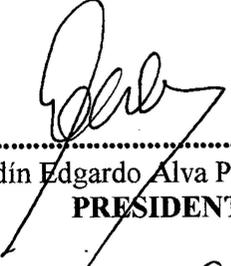
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

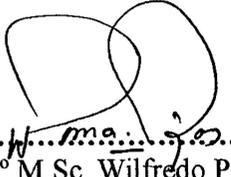
En Cajamarca, a los **dos** días del mes de **Setiembre** del año dos mil trece, se reunieron en el **Ambiente Laboratorio de Análisis de Suelos (2G – 204)**, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, los integrantes del Jurado designado por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 134-2013-FCA-UNC, con el objetivo de Evaluar la sustentación de la Tesis Titulada **"Evaluación de la Eficiencia de Aplicación del Riego por Aspersión en los Usuarios de las Comunidades de Moran Alto y Apan Bajo de la Provincia de Hualgayoc – Bambamarca"**; la misma que fue sustentada por el Bachiller de Agronomía don: **Segundo Humberto Rojas Bardales**; para optar el título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las **doce** horas y **quince** minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo, formulación de preguntas y la deliberación del Jurado, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación** por **unanimidad** con el calificativo de **dieciséis (16)** por lo tanto, el graduado queda expedito para que se le expida el título profesional correspondiente.

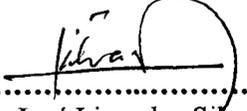
A las **trece** horas y **treinta** minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, **02 de setiembre del 2013**


.....
Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE


.....
Ing. M. Sc. Wilfredo Poma Rojas
SECRETARIO


.....
Ing. M. Sc. Segundo César Guevara Cieza
VOCAL


.....
Ing. José Lizandro Silva Mego
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por dame la vida y permitirme realizar mis sueños y lograr cumplir mis metas trazadas.

A mi esposa Luz y mi hijo Yhordan por el constante apoyo para cumplir mis objetivos trazados.

A mi papá Humberto Rojas y mi mamá Domitila Bardales por su incansable lucha y apoyo incondicional para sacarme adelante y así forjarme un futuro mejor

A mis hermanos, Tito, Víctor, Juanito, Percy y Betty, por su valioso apoyo moral y espiritual para seguir superándome cada día más .

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

Al Coordinador de la ONG Proyecto de Desarrollo Integral Andino, CPC. Waldemar Camilo Oropesa por la confianza brindada a mi persona, para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los beneficiarios del proyecto por brindarme las facilidades para el desarrollo del presente trabajo.

A mi asesor el Ing. José Lisandro Silva Mego por su apoyo y sugerencias para la culminación de los objetivos de este trabajo de investigación.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias con especial cariño y consideración quienes me brindaron con sus conocimientos el horizonte de mi formación profesional.

EL AUTOR

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO	
I INTRODUCCIÓN	1
II PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1 Planeamiento del problema	2
2.2 Formulación del problema	3
2.3 Justificación de la investigación	3
2.4 Delimitación de la investigación	4
III MARCO TEÓRICO	5
3.1 Antecedentes históricos de la investigación	5
3.2 Bases teóricas	5
3.2.1 Antecedentes históricos de la investigación	5
3.2.2 Propiedades físicas del suelo	7
3.3 Diseño agronómico	9
IV HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
V OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
VI DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	17
6.1 Definición operacional de la variable	17
VII MATERIALES Y MÉTODOS	18
7.1 Ubicación de la investigación	18
7.2 Materiales	19
7.3 Metodología	20
VIII RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
8.1 Evaluación Riego por aspersión sistema de la comunidad de Moran Alto	24
8.1.1 Diseño hidráulico del sistema de riego aspersión de Moran Alto.	24
8.1.2 Cálculo de la (ETP) método Hargreaves.	27
8.1.3 Cálculo de precipitación confiable (PD)	29
8.1.4 Diseño Agronómico	31
8.1.5 Balance Hidrico	34

8.1.6	Calculo de la pérdida de agua en las parcelas de los usuarios de Moran Alto	36
8.1.7	Evaluaciones de aforamiento de los aspersores en las parcelas de los usuarios de Moran Alto.	38
8.1.8	Evaluaciones precipitación de cada aspersor por parcela en (mm) sistema Moran Alto.	40
8.1.9	Evaluaciones Presión de Operación de cada aspersor en las parcela de los usuarios del Sistema Moran Alto en (m.c.a.)	42
8.2	Evaluación de riego por aspersión sistema de la comunidad de Apan Bajo	42
8.2.1	Diseño hidráulico del sistema de riego aspersión de Apan Bajo.	42
8.2.2	Calculo de la (ETP) método Hargreaves.	45
8.2.3	Cálculo de precipitación confiable (PD)	46
8.2.4	Diseño Agronómico	47
8.2.5	Balance Hídrico del sistema Apan Bajo	50
8.2.6	Cálculo de la pérdida de agua en las parcelas de los usuarios de Apan Bajo	52
8.2.7	Evaluación de aforamiento de los aspersores en las parcelas en Apan Bajo.	54
8.2.8	Evaluación de presión de Operación de los aspersores en (m.c.a.)	56
8.2.9	Evaluación de precipitación en (mm) sistema Apan Bajo.	58
IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		59
X REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.		61
ANEXO.		64

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en la provincia de Hualgayoc – Bambamarca, el objetivo es evaluar la eficiencia del riego por aspersión en las parcelas de los usuarios de las comunidades de Apan Bajo y Moran Alto, estos sistemas cuentan con 10 y 25 usuarios, con un área de 12 y 40 ha. La eficiencia del riego por aspersión de Apan Bajo es de 87.7 % y de Moran Alto es de 85.14 %, pero la eficiencia no es el único parámetro que determina la calidad del riego, se debe aportar la cantidad de agua requerida de acuerdo a la demanda del cultivo; además se registró los caudales de las fuentes de agua para cada sistema de 0.35 l s⁻¹ y 0.19 l s⁻¹ respectivamente; para el sistema de Apan Bajo necesitamos cubrir una demanda promedio de 101.33 mm mes⁻¹, de acuerdo al caudal de la fuente tiene una lámina de agua 16.60 mm mes⁻¹ y riegan cada 15 días, a un área de 6.252 ha, existiendo un déficit promedio de 84.73 mm mes⁻¹. Para el sistema de riego por aspersión de Moran Alto, según las necesidades del cultivo se necesita una lámina de agua promedio de 75.8 mm mes⁻¹, y según las evaluaciones realizadas la fuente de agua proporcionan una lámina de agua de 7.08 mm mes⁻¹, regando un asea de 8.115ha, existiendo un déficit de 68.72 mm mes⁻¹; del mismo modo para los demás meses desde abril a octubre tenemos déficit de agua. El coeficiente de uniformidad (CU), del sistema de riego por aspersión del caserío de Moran Alto es de 60.8 % y de Apan Bajo es de 50.25%; en la comunidad de Apan Bajo no existe el desnivel adecuado del reservorio con relación a las parcelas; además coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de Moran Alto es de 47.72 %; y el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de Apan Bajo es de 39.68 %, estos datos es una relación directa del CU.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años en la región Cajamarca, el recurso hídrico tiene mucha demanda en las diversas actividades agropecuarias y debido a esto es probable que se produzcan desequilibrios entre las disponibilidades y la demanda sea cada vez mayor, teniendo en cuenta que las fuentes de agua al secano son relativamente bajas; siendo la agricultura la actividad que requiere mayores cantidades de agua.

En la Provincia de Hualgayoc la mayor parte de los cultivos son de temporal o periodo lluvioso desde noviembre a mayo de cada año, muy pocas áreas están reducidas al riego por gravedad con eficiencias de 20 al 25 %, y las áreas que no tienen regadío están en descanso o en forma improductiva durante el periodo seco.

La ONG Proyecto de Desarrollo Integral Andino (PRODIA), en su ámbito de acción en la Provincia de Hualgayoc Bambamarca ha instalado numerosos sistemas de riego por aspersión; entre ellos, los más importantes que han sido considerados para el presente trabajo de investigación, son los que se ubican en las comunidades de Apan Bajo y Moran Alto, con la finalidad de evaluar la eficiencia de riego por aspersión en las parcelas de los usuarios de las comunidades antes indicadas. El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de Julio a diciembre del 2011.

CAPÍTULO II

PROBLEMA DE INVESTIGACION.

2.1. Planteamiento del problema

En la Provincia de Hualgayoc Bambamarca, el Proyecto de Desarrollo Integral Andino (PRODIA), ha ejecutado diferentes obras de infraestructura de riego por aspersión, para la producción de rye grass y trébol (*Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*); de los cuales para el presente trabajo de investigación se ha considerado los que se ubican en las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo.

En estas comunidades, existen grandes extensiones de suelos relativamente fértiles, aptos para el cultivo de pastos, siendo el factor limitante el recurso hídrico; es por ello que el proyecto de desarrollo integral andino a construido la infraestructura hidráulica de los sistemas proyectándose en Apan Bajo para irrigar 12 ha y en Moran Alto 40 ha, con riegos insuficientes que no cubren las demandas de los cultivos, dado a los caudales deficientes de las fuentes de agua que genera frecuencias de riego muy distantes, cada quince días para los usuarios de Apan bajo y de 30 días para los usuarios de Moran Alto.

El coeficiente de uniformidad del sistema no es el aceptable porque la presión de descarga de los aspersores en una parcela, no es uniforme con relación a las otras parcelas de del mismo sistema.

2.2 Formulación de problema.

La formulación del problema se realizó a partir de las siguientes preguntas.

¿Cuál es la eficiencia de riego en los sistemas de riego por aspersión de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo de la provincia de Hualgayoc Bambamarca?

¿Cuáles son los factores más importantes que influyen en la eficiencia de la aplicación en los sistemas de riego por aspersión?

¿Cuál es el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución del sistema de riego por aspersión, en los usuarios de las comunidades en estudio?

2.3. Justificación de la investigación.

Con el presente trabajo de investigación se pretende obtener la información necesaria para optimizar el uso de los recursos hídricos, en el área de los sistemas de riego por aspersión según las necesidades de demanda del cultivo de rye grass y trébol.

Por lo que de la información obtenida en el trabajo de investigación; los resultados permitirán hacer un análisis y las recomendaciones necesarias para que se hagan algunos ajustes en los sistemas de riego por aspersión de los caseríos de Moran Alto y Apan Bajo, y también para otros proyectos de esta naturaleza en nuestra región; porque les permitirá plantear estrategias de trabajo orientadas al diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de riego por aspersión y cumplimiento de los objetivos trazados, que influyan en el manejo eficiente y racional del recurso hídrico para la ampliación de la frontera agrícola, para el mejoramiento de las condiciones de los usuarios alto andinos.

2.4 Delimitación de la investigación.

El presente trabajo de investigación está dirigido a la evaluación de la eficiencia del riego por aspersión en las parcelas de los usuarios de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo de la provincia de Hualgayoc Bambamarca, para evaluar la eficiencia del sistema de riego implantado en dichas comunidades de acuerdo a sus parámetros establecidos.

Para determinar la necesidad de agua del cultivo de Rye grass y trébol, se ha determinado las propiedades físicas del suelo, información climática, volumen de agua, área, se elaboró la cedula de cultivo tanto para Moran Alto y Apan Bajo; para la evaluación de la eficiencia del riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto se trabajó con una muestra representativa de 25 usuarios y para Apan Bajo, se tenido en cuenta todas las familias consideradas en el proyecto elaborado por PRODIA.

PRODIA en su ámbito de acción en la cuenca del Rio Llaucano en Hualgayoc y Bambamarca ha ejecutado diferentes sistemas de riego por aspersión, para realizar el presente trabajo de investigación se ha considerado los sistemas, ubicados en la comunidades de Moran Alto que beneficia 25 usuarios, con un área de 40 ha; en Apan Bajo que está beneficiando a 10 usuarios, con un área de 12 ha.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes históricos de la investigación.

Según Villanueva, C. (2011), indica que la gestión del recurso hídrico en la cuenca del río Llaucano de los Provincia de Hualgayoc Bambamarca es muy deficiente por la mala organización de los usuarios en los trabajos de la infraestructura de riego, haciendo que los intervalos de riego en los comités de la junta de usuarios sea muy prologados.

Los restos arqueológicos del Cumbe Mayo son considerados como las obras más notables de ingeniería hidráulica de América Precolombina, de quienes supieron administrar con eficiencia el recurso hídrico, este canal fue tallado en piedra con ángulos rectos, hechos con el objeto de disminuir la velocidad de las aguas para evitar la erosión del suelo, con una profundidad que llega hasta los 50cm y un ancho de 35cm con una longitud de 850m ubicada al suroeste de la ciudad de Cajamarca, construida aproximadamente 1000 años antes de Cristo y se mantienen intacta (www.atlascajamarca.info/index.php).

Según Salazar, J. (2010), en una investigación realizada en el caserío de San Mateo de Quilcate San Miguel de Pallaques, Región de Cajamarca; indica que el cultivo de Rye grass con una dosis de agua de $2\ 123.89\ m^3\ ha^{-1}$, con una frecuencia de riego de cada seis días, se obtiene una producción de $21\ 633\ kg\ ha^{-1}$ de forraje verde.

Según Anten, M. y Has, W. (2000) el riego por inundación en el valle de Cajamarca tiene una eficiencia de 20 al 25 %, con intervalos de riego muy prolongados y excesivos volúmenes de aplicación de agua de riego durante el turno, lo cual se considera como un limitante en la producción agrícola, que impide que los cultivos alcancen su potencial de productividad.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión se basan en convertir la energía de la presión en energía de velocidad de salida del agua por la boquilla del aspersor en forma de chorro que al reunirse con la resistencia del aire cae a la superficie del suelo esparciendo en forma de gotas de agua (García. I. y Briones. 1997).

- c) Alta presión.- Más de 40 m.c.a. suelen ser aspersores de tamaño grande, llamados también cañones) con 1, 2 o 3 boquillas y con caudales entre 6 y 40 m³ h⁻¹ y llegando en los grandes cañones superar a los 200 m³ h⁻¹.

El proceso de aplicación de agua en un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas distribuyéndose en la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre aspersores (López, E. et al 2006).

Según Gurovich, L. (2001), la eficiencia con que los agricultores aplican su dotación de agua de riego depende a dos factores fundamentales; el manejo del agua durante el riego y las características hídricas del suelo que se está regando. En el manejo de agua de riego intervienen varios aspectos que inciden de forma determinante en la eficiencia de aplicación del agua de riego diseño del sistema, infraestructura del sistema, pendiente del campo regado, frecuencia de riego tiempo de riego y lo define.

$$(Ea) = (h \text{ entrada} - h \text{ perdida}/h \text{ entrada}) \dots \dots \dots (1)$$

Un buen diseño de un sistema de riego es considerado necesario pero no suficiente para una buena eficiencia "Las bajas eficiencias no son culpa del método sino del manejo del riego" a veces se obtienen mejores eficiencias con un buen manejo de una instalación no muy bien diseñada, con un mal manejo de una bien proyectada se debe indicar que, un diseño correcto debe preveer un manejo de riego adecuado de cada instalación (Losada, A. 2009).

3.2.2 Propiedades físicas del suelo

Según López, R. y López, M. (1990), el espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, que ocupan la fase gaseosa y líquida a esto se denomina densidad aparente (Da), que es el cociente de dividir la masa del suelo seco (Ms) por el volumen del suelo total puede variar de 0.70 g / cm³ en el caso de suelos volcánicos y 1.8 g / cm³ en suelos arenosos.

Se entiende por porosidad a los espacios vacíos o poros que quedan entre las partículas que son ocupadas por el aire o agua. Cuanto más fina es la textura, mayor número de poros existen. En los suelos arenosos los poros son grandes (macroporos), el agua y el aire circula con mucha facilidad. (Pritchett, W. 1986).

Según López, E. et. al. (2006), los suelos arcillosos los poros son pequeños (microporos) y tanto el agua como el aire circulan con gran dificultad, pero almacenan mucha humedad, ya que la capa de agua se adhiere a las partículas.

Se entiende como capacidad de campo (Cc) cuando la humedad del suelo a cesado el drenaje rápido en el suelo y la retención se hace lenta, se puede interpretar como una medida de la cantidad de agua que un suelo es capaz de retener en contra de las fuerzas de la gravedad (Tarjuelo, J. 1999).

$$Cc = (\text{peso agua en la muestra}/P_{ss})(100)\dots\dots\dots(2)$$

En cuanto al punto de marchitez permanente (PM), Hudson, J. (1982), indica que este parámetro es el agua disponible para los cultivos y se da cuando el potencial mátrico ha bajado hasta en -15 bar, cuando la planta es incapaz de extraer agua a potenciales más bajos.

$$PM=0.55xCc\dots\dots\dots(3)$$

Para la aplicación de una cantidad determinada de agua al suelo es necesario conocer la velocidad de infiltración del suelo, la cual viene hacer la relación entre lámina de agua infiltrada al suelo y el tiempo que demora en infiltrarse dicha lámina (Hudson, J. 1982).

La velocidad de infiltración básica es la entrada del agua de forma vertical desde la superficie hasta las capas más profundas del perfil del suelo, es una información muy importante porque nos va indicar el tiempo de riego y el diseño del sistema. La infiltración depende de varios factores como, la lámina de agua aplicada. la textura y estructura del suelo (Orate, W y Soto, F. 2002).

La velocidad de infiltración básica de los suelos según su textura, es el siguiente:

Tabla 1. Velocidad de infiltración básica.

Textura	Velocidad de infiltración básica (mmh ⁻¹)
Arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso	2.5 – 7.5
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso, franco arcillo limoso	6.5 – 19.0
Franco arenoso fino	12.5 – 38.8
Franco Arenoso	25.0 – 75.0
Arenoso	>75
Arenoso franco	50.0 - 100

Fuente ILRI (1977), Citado por (Orate, W y Soto, F. 2002).

3.3 Diseño agronómico

3.3.1 La evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración es la cantidad de agua perdida bajo la forma de vapor, desde una superficie cubierta de vegetación, que es utilizado a la medida de las necesidades de agua de las plantas; basándose en datos climáticos medidos y otros factores, que obedece a que en un terreno ocupado por un cultivo, el agua pasa a la atmósfera bajo las formas de evaporación directa desde el suelo y por transpiración, de los estomas de las plantas de agua que estas han absorbido del suelo, la evapotranspiración potencial se determina de la siguiente manera (Tarjuelo, M. 1995).

$$ETP = MF \times T^{\circ}F \times CH \dots\dots\dots(4)$$

Dónde:

ETP = Evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹

MF = factor mensual dependiente de la latitud

T[°]F = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

CH = 0.166 (100 -HR)^{1/2}, Factor de corrección para la humedad relativa (HR) cuando excede el 64%, y cuando HR < 64 %, CH=1.

3.3.2 Necesidades de agua de los cultivos. Un riego eficiente debe aportar el agua al cultivo en el momento y en la cantidad que este requiere. Se debe evitar tanto aportes excesivos que provoquen su despilfarro sin producir ningún beneficio o insuficientes produciendo disminución en la producción por ello conocer las necesidades de los cultivos es vital. (Castañón, G. 2000)

3.3.2 Evapotranspiración real (ETR) Es el consumo de agua por parte de las plantas bajo condiciones actuales (época de siembra, desarrollo etc.), así como de la cantidad de agua en el suelo, de manera que la ETP afectada por un coeficiente que tiene el efecto de la relación agua planta suelo (García, I. y Briones, G. 1997).

$$ETR = Kc \times ETP \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real

ETP = Evapotranspiración potencial

Kc = Coeficiente de cultivo es el factor del cultivo que varía a lo largo del ciclo vegetativo, para el caso del cultivo de rye grass y trébol.

3.3.3 Necesidades netas (Nn) Es el requerimiento para el cultivo, es la parte de la evaporación real que no abastece la precipitación se expresa (Zapata, M. y Segura, P. 2001)

$$Nn = ETR - Pe \dots\dots\dots(6)$$

Dónde:

Pe = Precipitación efectiva en mm

ETR = Evapotranspiración real en mm

Según Orate, W. (1987), nuestra sierra se caracteriza por que se presentan lluvias, que pueden cubrir gran parte de la demanda de agua durante el crecimiento de los cultivos, con volúmenes que varían de mes en mes y de año en año, siendo necesario calcular el valor de la precipitación mensual al 75 % de persistencia o precipitación confiable PD, se puede definir por ecuaciones estadísticas de afinidad hidrológica, entre estas tenemos con buenos resultados satisfactorios:

$$PD = - 0.6745 \times SD \times PM \dots\dots\dots(7)$$

Dónde:

PD = Precipitación confiable o dependiente al 75 % de probabilidad en mm mes⁻¹

0.6745 = Valor de la normal para el 75 % de persistencia.

SD = Desviación estándar de la serie en mm mes⁻¹

PM = Precipitación media mensual en mm

3.3.4 Necesidades brutas de agua por el cultivo (Nb). Es igual al requerimiento de agua de los cultivos afectada por la eficiencia del proyecto que es de 75 % para el riego por aspersión (Orate, W y Soto, F. 2002).

$$Nb = (Rn/Ef) \dots\dots\dots(8)$$

Dónde:

Nb = Necesidades brutas (m³ ha⁻¹ mes⁻¹)

Ef = eficiencia en este caso para riego por aspersión es de 75 %

Rn = Demanda de agua por el cultivo por mes.

3.3.5 Según Orate, W. (1987) Volumen total del agua requerido (V_t) se expresa en la siguiente formula.

$$V_t = N_b \cdot A \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

V_t = volumen total requerido por mes ($m^3 \text{ mes}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)

N_b = Necesidades brutas ($m^3 \text{ ha}^{-1}$)

A = área a regar en (ha.)

3.3.6 Caudal requerido por hora (Q) (Gallegos, A. 1997)

$$Q = V_c/T \dots\dots\dots(10)$$

Dónde:

Q = Caudal requerido ($m^3 \text{ h}^{-1}$)

V_c = Volumen corregido ($m^3 \text{ día}^{-1}$)

T = Horas diarias de operación

3.3.7 Módulo de riego (Mr) (Sangardoy, J. et. al. 1991)

$$M_r = Q \cdot 10000 / \text{segundos total de hora} \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

Q = Caudal requerido ($m^3 \text{ h}^{-1}$)

M_r = Modulo de riego ($l \text{ ha}^{-1}$)

3.3.8 Lamina neta (Ln). Depende de las constantes físicas y de la humedad del suelo densidad aparente (Tarjuelo, J. 1999)

$$L_n = (C_c - P_{mp}) / (D_a) (@) (P_r) / 100 \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

C_c = Capacidad de campo en %

D_a = Densidad aparente ($gr \text{ cm}^3$)

@ = Porcentaje de agotamiento %

P_r = profundidad de raíces (m)

3.3.9 Intervalo de riego (IR) (Santa, J. y Silva, A.1995)

$$IR = L_n/ETR \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

IR = Intervalo de riego

L_n = Lamina neta (mm)

ETR = evapotranspiración real (mm día⁻¹)

3.3.10 Dotación bruta (Db) (Castañón, G. 2000).

$$Db = L_n/E_f \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

Db = Dotación bruta (mm)

L_n = Lamina neta (mm)

3.3.11 Precipitación del aspersor (P) (Medina, J. 2000)

$$P = (Q/EA*EL)(100) \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

P = Precipitación del aspersor (mm h⁻¹)

Q = Caudal del aspersor

EA = Distancia entre aspersor en (m)

El = Espaciamiento entre lateral en (m) $El = DH*0.5$

DH = Diámetro de humedecimiento

3.3.12 Tiempo de riego (TR)

$$TR = Db/P \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

TR = Tiempo de riego en horas

P = Precipitación del aspersor en mm/hora

Db = Dotación bruta en mm

3.3.13 Caudal requerido por el predio por hora (Qr) (García, A. et al 1994).

$$Q_r = N_a * Q_a \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

Qr = Caudal requerido en m³ h⁻¹

Na = Numero de aspersores

Qa = Caudal de aspersor m³ ha⁻¹

Coeficiente de uniformidad de Christiansen es una representación estadística de la uniformidad utilizado principalmente en riego por aspersión (Sangardoy, J. et. al. 1991)

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |C_i - M|}{M \cdot n} \right) \dots\dots\dots(18)$$

Donde:

- CU = Coeficiente de uniformidad.
- C_i = Cantidad de agua recogido en cada depósito en mm
- N = Número total de depósitos para recoger el agua
- M = valor medio del agua recogida en cada depósito, respecto a la media

Según Gurovich, L. (2001) para determinar la altura de la precipitación del aspersor se utilizan recipientes que tengan igual área de entrada y una sola altura. Al realizar la medición se verterá el agua en la probeta y la altura de la lluvia se calculará por.

$$H = 10 \frac{V}{A} \dots\dots\dots(19)$$

Dónde:

- H= Altura de la precipitación (mm)
- V= Volumen de cada recipiente (mm)
- A= Área de la boca del recipiente (cm²)

Keller (1990) define a coeficiente de uniformidad del sistema como los efectos y pérdidas de agua que produce. La separación entre aspersores debe permitir el recubrimiento entre las áreas mojadas buscando una buena uniformidad, la uniformidad de la distribución varía mucho con la presión del trabajo, el viento y los aspersores no debe de estar separado entre si más de 50 al 65 % del diámetro mojado Citado por (Tarjuelo, J. 1999)

$$CU_s = CU \frac{1}{2} \left[1 + (P_n / P_a)^{0.5} \right] \dots\dots\dots(20)$$

Dónde:

- P_n = Presión mínima de todos los aspersores (m.c.a)
- P_a = Presión media de todos los aspersores (m.c.a)

Castañón, G. (2000), menciona que el agua es aportada a los cultivos de diferente manera según el método empleado, produciéndose unas pérdidas durante todas las operaciones de riego por ello la cantidad de agua aplicada al terreno es mayor que la que puede utilizar las plantas existiendo una eficiencia de aplicación de riego (E_a); representa el cociente entre el agua que es utilizada para las plantas para su transpiración (dosis o lámina neta) y el total de agua de agua aplicada en la parcelas (dosis o lámina bruta) se calcula por.

$$Ra = \frac{Hn}{Hb} \dots\dots\dots(21)$$

Dónde:

H_n = Dosis o lámina neta

H_b = Total de agua aplicada o lámina bruta.

Tabla 2. Valores de K_c para el cultivo pasto Rye grass

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
K_c	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: (Tarjuelo, J. 1999).

CAPÍTULO IV

HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La eficiencia de riego por aspersión en los usuarios de las Comunidades de Moran Alto y Apan Bajo es deficiente; el coeficiente de uniformidad de los sistemas no son los adecuados por la deficiencia de presión de operación de los aspersores, haciendo que los caudales de descarga de los aspersores no sea uniforme; los caudales de las fuentes de agua no satisfacen la demanda del cultivo de pastos.

CAPÍTULO V

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de riego por aspersión en los usuarios de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo de la Provincia de Hualgayoc.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión en las parcelas de los usuarios de las comunidades en estudio.
- Determinar la presión de operación de los aspersores, caudales de las fuentes de agua y de los aspersores en los sistemas de riego por aspersión que hacen uso los usuarios para la producción de pasto, rye grass y trébol (*Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*).

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

6.1 Definición operacional de la variable

Tabla 3. Operacionalización de las variables.

Variable	Definición	Indicador
Presión de los aspersores	Altura de carga manométrica establecida en el sistema	Caudales de emisión por aspersores son los mismos en el sistema.
Eficiencia de aplicación del riego por aspersión	Es relación del volumen de agua utilizada entre el volumen de la demanda bruta en mm	Volumen de agua en mm, presión de operación en m.c.a.
		Altura de agua en mm
		Valor cuantificado en porcentaje volumen de agua aplicado eficiente.

CAPÍTULO VII

MATERIALES Y MÉTODOS.

7.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en las comunidades de Apan Bajo que se ubica geográficamente en la latitudes de $06^{\circ} 45' 03''$, $6^{\circ} 42' 46''$ y longitudes de $78^{\circ} 32' 97''$, $78^{\circ} 31' 23''$ a una altitud media de 2990 m, con precipitación promedio de 1009 mm año⁻¹, temperatura promedio de 12.96°C y humedad relativa promedio de 71.58 ; Moran Alto, se ubica geográficamente en la latitudes de $06^{\circ} 39' 38''$, $6^{\circ} 40' 55''$ y longitudes de $78^{\circ} 39' 7''$, $78^{\circ} 38' 35''$ a una altitud media de 3640 m, con una precipitación promedio de 1016 mm año⁻¹, temperatura promedio de 6.05°C y humedad relativa promedio de 75.28, de la Provincia de Hualgayoc Departamento de Cajamarca.

7.1.1 Plano de ubicación (Ver detalle en plano 1).

7.2 Materiales -

7.2.1 Material de Investigación

- Líneas móviles de riego
- Fuentes de agua para los sistemas.
- Probetas graduadas en ml (cm³).
- Aspersores
- Usuarios
- Datos climáticos

7.2.2 Materiales de escritorio

- Lápiz portaminas
- Calculadora científica
- Regla graduada
- Libreta de campo

7.2.3 Material de campo

- GPS garmin
- Wincha
- Cronómetro
- Hoja de registro
- Balde
- Manómetro con un tubo acoplado
- Cámara digital
- Palana
- Bolsas plásticas, depósitos descartables para mediar la precipitación de los aspersores.
- Dos mangueras flexibles de 2,5 m de longitud y diámetro según las boquillas.
- Probeta graduada en ml.

7.3 Metodología.

El presente trabajo de investigación no está sujeto a un diseño o análisis estadístico, sino a la obtención de la información de campo, de cómo están utilizando los usuarios de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo y contrastar con los parámetros de riego; los volúmenes de riego requeridos en los predios de los agricultores versus el volumen de las fuentes hídricas captadas para el riego por aspersión en cada una de las comunidades; estas actividades con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema de riego establecidas en estas comunidades. La información utilizada para la evaluación de la eficiencia es la siguiente.

- Plano de ubicación (ver plano 1)
- Plano de distribución parcelario
- Diseño hidráulico
- Diseño agronómico
- Características físicas del suelo
- Información climática

7.3.1. Unidad de análisis, universo y muestra

El universo de la población lo constituyen los 43 usuarios de los sistemas de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto 33 y Apan Bajo 10. La unidad muestral de investigación está constituido por los 25 usuarios de Moran Alto y 10 de Apan Bajo, representada por la infraestructura de riego de cada parcela.

Unidad de análisis en la investigación está constituida por la eficiente de riego por aspersión.

7.3.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Tabla 4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Variable	Fuente	Técnica Utilizada	Instrumento
La lamina de riego para el cultivo de (<i>Lolium multiflorum</i>) y (<i>Trifolium Repens</i>)	Demanda de agua del cultivo	Profundidad de raíces del cultivo	Regla graduada
Eficiencia del riego por aspersión en Apan Bajo y Moran Alto.	Infraestructura de riego	Aforo del caudal de la fuente y del aspersor, medida de la presión de operación de cada aspersor.	Balde.
			Manómetro.
		Medida de la precipitación en mm	Probeta graduada
	Usuarios	Entrevista a cada usuario	A base de encuestas y conversaciones

7.3.1 Técnica de procesamiento y análisis de datos.

La información se ha sistematizado y analizado en base a cuadros, haciendo énfasis en los recursos hídricos, presión y funcionamiento de la infraestructura de riego en cada una de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo, correlacionándolo los volúmenes de agua que llegan a los usuarios entre los volúmenes de agua que son almacenados en los reservorios; determinándose la eficiencia de riego de los sistemas establecidos, con la presión de operación del sistema se está determinado el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de las comunidades en estudio.

7.3.2 Diseño de investigación.

El presente trabajo de investigación no tiene diseño experimental alguno por ser un trabajo, de análisis descriptivo no experimental según variables consideradas.

7.4. Realización del trabajo.

7.4.1 Fase de campo.

Fase realizada para tomar la información pertinente a los usuarios de los sistemas de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto y de Apan Bajo;

- a) muestreos de suelos para determinar las propiedades físicas de suelos de cada sistema.
 - Capacidad de campo
 - Punto de marchitez permanente
 - Densidad aparente
 - Textura de suelos
- b) Medidas de la infraestructura hidráulica del sistema
 - Medidas de los reservorio para determinar el volumen de cada reservorio
 - Descripción y medidas de las líneas móviles de riego de cada sistema
- c) Entrevistas con los usuarios en base de encuestas para determinar lo siguiente.
 - N° de ha. de riego por aspersión de cada usuario
 - N° de usuarios de cada sistema de riego
 - Turno de riego de cada parcela N° de horas asignadas a cada turno
- d) Aforamiento de los aspersores instalados en los usuarios de las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo mediante el método volumétrico según. este método consiste en hacer llegar la corriente del agua a un depósito de volumen (V) conocido, y luego medir el tiempo (T) con un cronómetro el tiempo que tarda en llenarse dicho depósito.

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = Caudal en l s⁻¹

V = En litros

T = Tiempo en segundos

- e) Muestreos de la precipitación de los aspersores para obtener la siguiente información
 - Presión en metros de columna de agua (m. c. a.) de agua de cada aspersor haciendo huso del manómetro acoplado.
 - Aforamiento de los aspersores según método volumétrico haciendo Huso de una manguera y una bolsa plástica del mismo modo para determinar las pérdidas de agua en los hidrantes y las abrazaderas de la manguera.

- para determinar la precipitación de cada aspersor se ubicó depósitos descartables en el marco de riego.

7.4.2 Información meteorológica.

La información meteorológica fue obtenida de la estación meteorológica del Proyecto Conga de Minera Yanacocha y de las Oficinas del Servicio Nacional Meteorología e Hidrología SENAMHI distrito de Bambamarca.

- Humedad Relativa
- Temperatura en °C
- Precipitación atmosférica/mes
- N° de horas de sol/mes
- Velocidad del viento m/s

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1 Evaluación de riego por aspersión sistema Moran Alto.

Según la metodología propuesta en el presente capítulo se presenta la información requerida para evaluar la eficiencia de riego de los sistemas, existentes en las comunidades de Moran Alto y Apan Bajo de la provincia de Hualgayoc - Bambamarca; primeramente se hizo la evaluación de Moran Alto y luego de Apan Bajo.

8.1.1 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión de Moran Alto.

El diseño hidráulico comprende la elaboración y la relación física de los materiales que constituyen la obra de riego por aspersión en la comunidad de Moran Alto ejecutado por PRODIA en el año 2010, para beneficiar a 33 familias, de los cuales solo lo utilizan 25 usuarios, con un área de 40 ha.

Cada beneficiario hace uso de un hidrante para el funcionamiento de cuatro aspersores simultáneamente para irrigar un área de 0.3246 ha parcela, el tiempo de funcionamiento por puesta es de 6 horas con turno de riego de cada 30 días, siendo el caudal de cada aspersor de 914.4 l h^{-1} , la puesta en funcionamiento de los aspersores se efectúan con la presión de agua del reservorio que tiene un volumen de $2\,448 \text{ m}^3$, que es construido en las partes altas de la parcelas, que riega cada aspersor un área de 270.5 m^2 , que capta el agua del manantial denominado "ojo de agua", que se ubica a 3 Km del reservorio aproximadamente.

8.1.1.1 Cálculo de la lámina neta del riego por aspersión.

Tabla 5. Análisis físico de los suelos.

Comunidad	Dap / cm ³	CC %	PMP %	AD %	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural
Moran Alto	1.25	17.75	9.53	8.22	61	16	23	Franco arcillo arenoso

Fuente: Inia - Cajamarca 2011.

$$L_n = \left(\frac{C_c - PM}{100} \right) (Da) (\%AUU) (Pr)$$

$$L_n = 24.66 \text{ mm (Ver fórmula 12 pág. 11)}$$

8.1.1.2 Datos obtenidos en campo del sistema del riego por aspersión de Moran Alto

- Pendiente media : 8 %
- Altitud media : 3640 m
- Latitud: 6° 39' 8"
- Área del proyecto: 40 ha.
- Eficiencia de riego del proyecto: 75 %
- Tiempo de riego: 18 horas
- Tiempo de puesta de un aspersor: 6 horas
- Radio de alcance del aspersor: 12.50 m.
- Cultivo establecido: Rye grass y trébol
- Aspersores por beneficiario: 4 aspersores
- Lamina de riego promedio: 20.57 mm riego⁻¹
- Altura del agua en el reservorio al inicio de las evaluaciones: 2.865 m.
- Volumen del reservorio: 2448m³
- Caudal medio de los aspersor: 914.4 l h⁻¹
- Presión de operación media del sistema: 24.87m.c.a.
- Aspersores dos boquillas modelo 5023.

8.1.1.3 Calculo del volumen del reservorio de la comunidad de Moran Alto

$$V = (A1+A2/2) (h) \quad (\text{Ver plano N° 02})$$

Dónde:

$$\begin{aligned}x^2 &= 4^2 + 6^2 & x &= 7.2 \\A1 &= 32 * 18 \\A1 &= 576 \\A2 &= 24 * 10 \\A2 &= 240 \\V &= (576+240/2)6 & V &= 2448\text{m}^3\end{aligned}$$

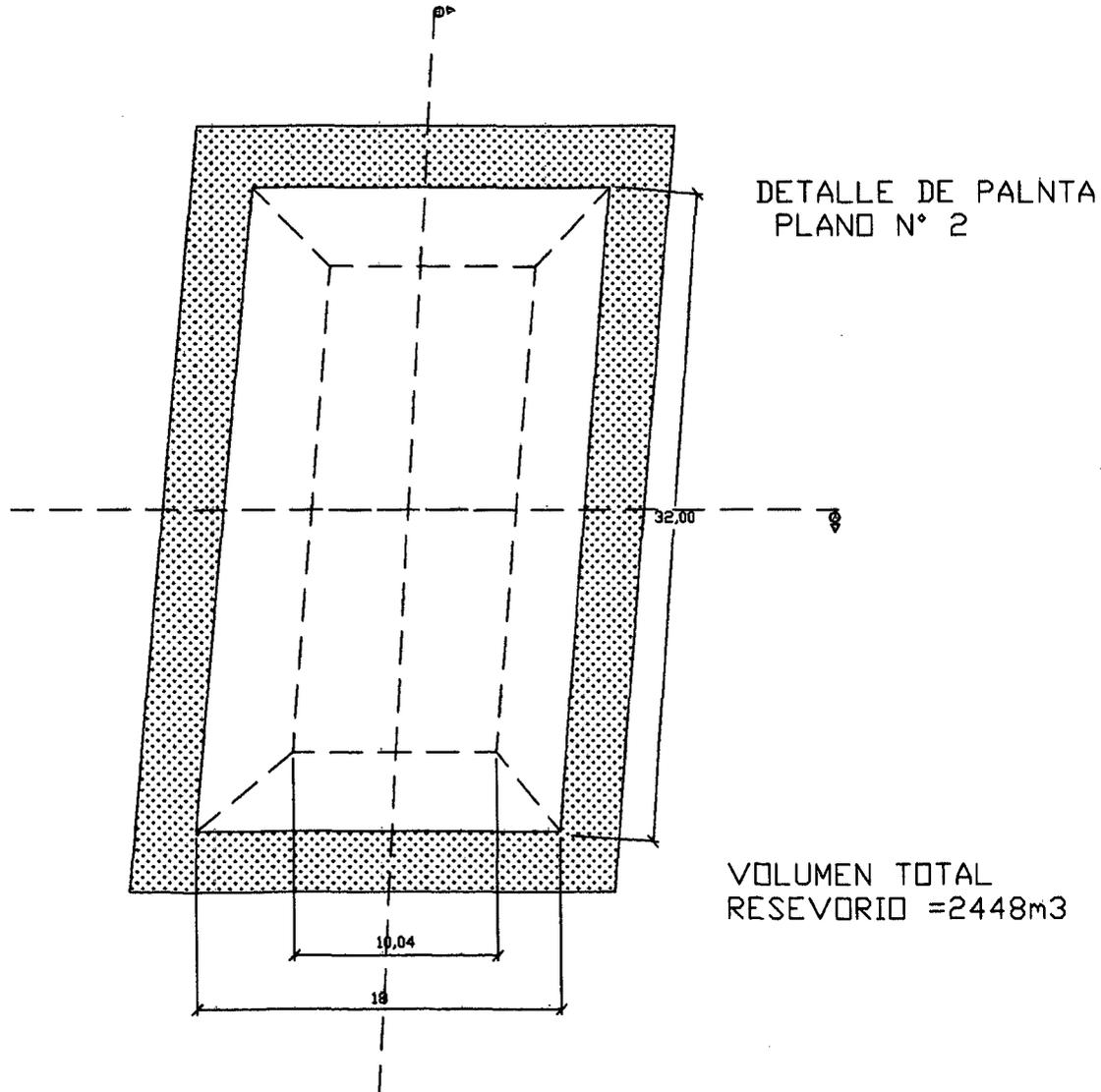
8.1.1.4 Medición del caudal del manantial denominado "Ojo de agua" que abastece al reservorio del sistema de Moran Alto. Para determinar el caudal del manantial denominado "Ojo de agua" que abastece a dicho reservorio, se utilizó el método volumétrico por ser el más exacto; este método consiste en hacer llegar la corriente del agua a un depósito de volumen (V) conocido, y luego medir el tiempo (T) con un cronometro que tarda en llenarse dicho depósito.

$$Q = V/T \quad (\text{según fórmula 10 pág. 11})$$

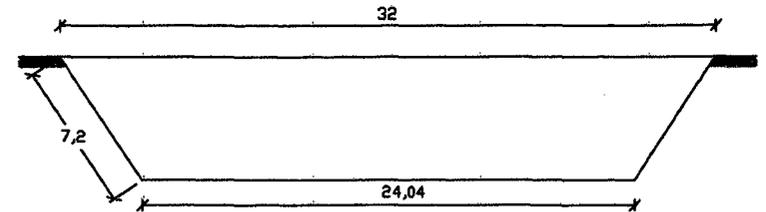
Donde:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ l.} \quad \text{Tiempo} = 21 \text{ s.} \quad Q = 0.19 \text{ l s}^{-1}.$$

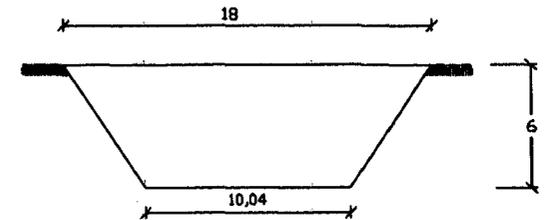
PLANO DEL RESERVORIO SISTEMA MORAN ALTO



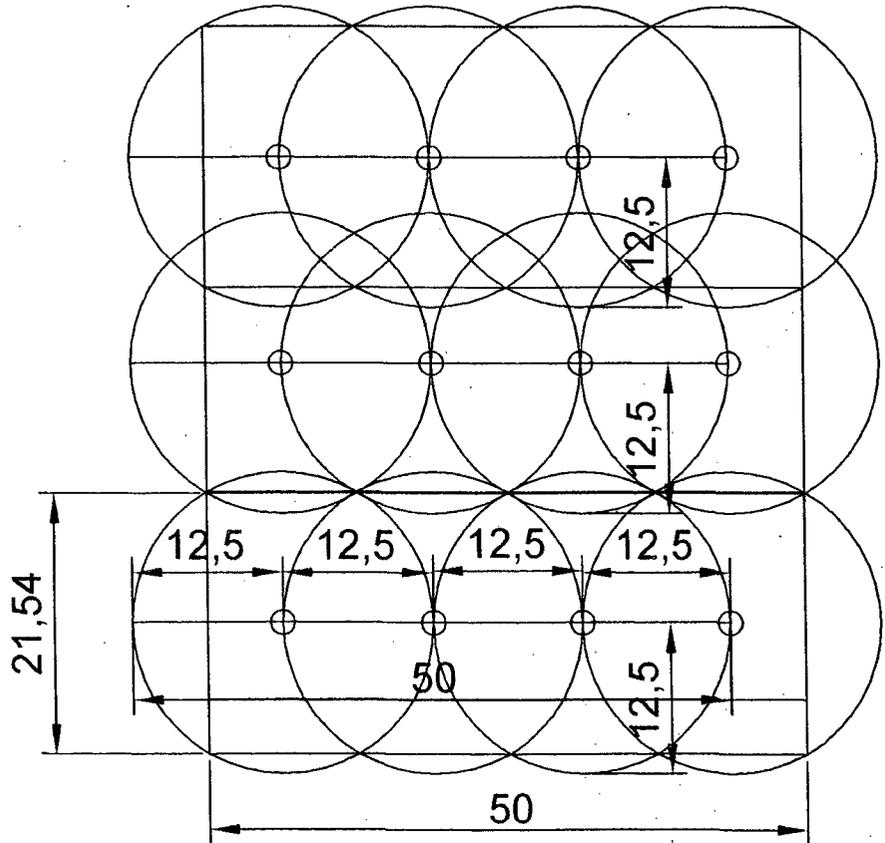
VISTA LATERALCORTE B



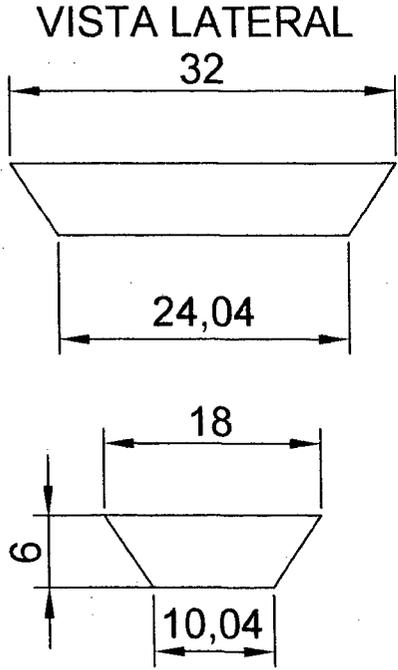
VISTA FRONTALCORTE A



DETERMINACION DEL MARCO DE RIEGO SISTEMA
DE RIEGO POR ASPERSION MORAN ALTO



MARCO DE RIEGO
AREA = 0.1082ha.



VOLUMEN
TOTAL
RESERVORIO
=2448m³

AREA REGADA POR
PARCELA = 0.3246 ha.

LAMINA N°: 4

8.1.1.5 Información meteorológica.

Tabla 6. Datos climatológicos mensuales desde el año 1990 al 2000 para el sistema de Moran Alto.

MES/AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	125.4	168	198	54.5	33.8	19.9	3.2	2.5	18.2	103	108.8	198.3
1991	130	187	287	54.7	8	12.2	17.6	17.2	28.1	89.8	119.5	167.7
1992	167	0.1	234	76.2	18.1	4.4	3.4	20.6	31.9	31.4	145	134.2
1993	119.2	195	193.8	98.4	27.9	28.7	8.4	19.3	87.2	5.5	138.2	190
1994	145	186.9	171	58.5	4.6	17.3	6.5	26.4	39.7	71	180	143.9
1995	137.6	167	238.5	70.7	66.8	10	7.2	19.3	45.1	80.2	193.7	171.2
1996	130.4	130	186	55.2	43	23	0.1	4.4	12.3	32.2	169	129.5
1997	129.9	171	141.9	42.6	25.5	8	7.5	0.1	16.1	53.4	187.5	178
1998	175	180	127	37	65.6	3.9	4.4	3.8	25	24.4	156	199
1999	138	132.3	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.7	33.6	24.4	184.8	181.1
2000	180	154	145	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	199.1	106.7
Temperatura media °c	6.71	6.82	6.49	7.05	4.79	5.92	3.97	5.24	5.54	6.78	6.86	6.93
Humedad relativa %	77,65	82,08	83,77	80,64	53,34	84,31	56,25	77,13	81,14	75,91	74,03	71,1
Precipitación media mm mes ⁻¹	143,4	151,9	189,3	55,8	28,8	13,1	6,3	12,4	30,9	58,7	162,0	163,6
Velocidad del Viento(m s ⁻¹)	3.92	3.76	3.24	3.61	2.47	3.86	3.41	4.12	3.89	3.32	3.69	4.25
Horas sol	5.21.	3.84	3.85	4.68	4.81	5.53	5.77	6.42	5.75	5.29	5.51	4.91

Fuente: Estación meteorológica proyecto Conga.

Con los datos de la **tabla 6**, se determinó mensualmente la evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹, según método de Hargreaves, los resultados nos han permitido desarrollar la (**tabla 8,10**), relacionando los requerimientos de las necesidades hídricas del cultivo pasto rye grass y trébol, cuyo requerimiento total para las 40 ha, para el mes de julio es de 38 344.69 m³, que es mes el de mayor demanda es de 7 779,179 m³; pero para las 8.115 ha, que están haciendo uso los agricultores, solo disponen para el mes de Julio y la primera quincena de agosto 1 933.75 m³, y para los demás meses de estiaje (ver tabla 11); de noviembre a marzo debido a la presencia de lluvias los requerimientos de riego son casi nulos, o no hay necesidad de prácticas de riego.

8.1.2 Cálculos de la ETP según método de Hargreaves.

$$ETP = MF \times ^\circ F \times CH \text{ (Ver formula 4 pág. 9)}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹

MF = Factor de latitud

°F = Temperatura media mensual

CH = factor de corrección por humedad = $0.166(100 - HR)^{1/2}$

8.1.2.1 Cálculo MF. Está en función de la latitud. ($6^{\circ}39'8''$), esto es igual a:

Tabla 7. Valores de (MF) según latitud sur.

LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2.788	2.177	2.354	2.197	2.137	1.99	2.09	2.216	2.256	2.358	2.254	2.27
2	2.317	2.136	2.357	2.182	2.108	1.96	2.05	2.194	2.251	2.372	2.263	2.3
3	2.353	2.154	2.36	2.167	2.079	1.92	2.03	2.172	2.246	2.386	2.29	2.34
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.05	1.89	1.99	2.13	2.24	2.398	2.318	2.37
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.03	1.85	1.96	2.126	2.234	2.411	2.345	2.41
6	2.447	2.206	2.363	2.117	1.98	1.82	1.98	2.103	2.226	2.422	2.317	2.44
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.79	1.89	2.078	2.218	2.433	2.397	2.48

Fuente ,FAO (1977)

$$\text{Latitud } 6^{\circ}39'8'' = 60'' = 1' \quad 60' = 1 \text{ h} = 6.6513^{\circ}$$

6°	2.447
6.6513°	MF
7°	2.478

Está en función de la latitud. ($6^{\circ}39'8''$), esto es igual a 6.6513° mediante interpolación se obtiene Luego para el mes de enero será igual: MF = 2.467 enero, este mismo método se utilizó para todos los meses del año (Ver tabla 07)

8.1.2.2 Cálculo de la temperatura media mensual. Se calculó de acuerdo a la temperatura media convertida a (F°)

$$\text{Calculo de } ^{\circ}\text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$\text{Para el mes de enero } F^{\circ} = 44.07 \text{ (Ver tabla 8)}$$

8.1.2.3 Cálculo del coeficiente (CH), depende de la humedad relativa.

$\text{CH} = 0.166 \cdot (100 - \text{HR})^{1/2}$; para HR mayor a 64%; y para menor a 64 % $\text{CH} = 1$ (Ver formula 4 pág. 09).

Para Enero. $\text{CH} = 0.166 (100 - 77.65)^{1/2} = 0.78$, el mismo método para todos los meses del año. (Ver tabla 8).

8.1.2.4 Cálculo de la (ETP) para el mes de enero

Cálculo de la ETP mm.mes⁻¹ para el mes de Enero (Ver fórmula 4 pág. 09).

$$ETP = MF * °F * CH$$

$$ETP = 2.467 * 44.07 * 0.78 \quad ETP = 84.802 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 8)}$$

8.1.2.5 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETR).

$$ETR = Kc * ETP \text{ (Ver fórmula 5 pág. 9).}$$

Kc = 1.0, Obtenido de (tabla 03 pág. 13) cultivo (pastos) Rye grass.

$$ETR \text{ (enero)} = 1 \times 84.802 = 84.802 \text{ mm mes}^{-1}.$$

Tabla 8. Resultados de la evapotranspiración potencial del cultivo (ETP) Evapotranspiración real (ETR), en mm mes⁻¹.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
MF	2.467	2.216	2.363	2.105	1.966	1.797	1.922	2.087	2.221	2.429	2.369	2.464
°F	44.07	44.27	43.38	43.8	40.61	42.65	39.15	41.42	41.97	44.2	44.35	44.47
CH*	0.78	0.7	0.67	0.77	1	0.66	1	0.79	0.72	0.81	0.85	0.79
ETP	84.802	68.672	68.680	70.993	79.839	50.584	75.246	68.290	67.115	86.963	89.305	86.564
Kc	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ETR	84.802	68.672	68.680	70.993	79.839	50.584	75.246	68.290	67.115	86.963	89.305	86.564

* Los datos de Mayo y Julio equivale a 1, la Humedad relativa es menor de 64 %.

Fuente: Elaboración propia.

8.1.3 Cálculo de precipitación confiable (PD)

$$PP_{75} = -0.645 * SD + PM \text{ (Ver fórmula 07 pág. 10)}$$

Donde:

PP = Precipitación confiable (mm mes⁻¹)

SD = Desviación estándar de la serie (Ver tabla 08)

PM = Precipitación media (mm mes⁻¹)

a) Cálculo de la desviación estándar.

$$SD = \sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2 / n) / n - 1}$$

$$SD = \sqrt{230628.7 - (15775)^2 / 11} / 10$$

SD = 21.0; para el mes de Enero (Ver tabla 9).

b) Cálculo de la precipitación media. Según detalle de la tabla 6; se obtiene.

$$PM = 143.4 \text{ mm mes}^{-1}, \text{ para el mes de enero (Ver tabla 9)}$$

c) Cálculo de la precipitación confiable para el mes de enero (PD)

$$DP = -0.6745 \times 21 + 143.4 \quad PD = 129.88 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 9)}$$

En la **Tabla 9**. Precipitación confiable al (DP 75%), calculado con los datos de la tabla 06 se obtiene.

MES/AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
PM	143.4	151.9	189.3	55.8	28.8	13.1	6.3	12.4	30.9	58.7	162.0	163.6
Σx	1577.5	1671.3	2081.9	614.2	316.5	144.3	69.0	136.0	339.5	645.7	1781.6	1799.6
SD	21.0	54.7	48.3	20.1	21.9	8.6	4.5	9.0	22.5	39.2	30.7	30.7
Σx^2	230628.7	233798.9	417400.4	38337.8	13911.8	2626.7	638.3	2453.6	15522.2	53245.6	298006.7	303809.8
DP 75%	129.88	116.69	158.08	42.87	14.63	7.59	3.35	6.55	16.38	33.44	142.13	143.83

Fuente: Elaboración propia.

8.1.4 Diseño Agronómico.

a) Cálculo de necesidades netas mm mes^{-1} (Ver formula 6 pág. 10)

$$\text{Abril} = 70.99 - 42.87 = 28.12 \text{ mm.mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 10)}$$

b) Cálculo de la de demanda bruta (mm.mes^{-1}), (ver formula 8 pág. 10)

$$D_n / E_f = 28.12 / 0.75 = 37.49 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 10)}$$

f) Cálculo de la demanda unitaria neta $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$; a la demanda unitaria neta en $\text{mm ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ simplemente se multiplica por 10, y luego se multiplica por número de hectáreas.

$$\text{Abril: } 37.49 \times 10 = 374.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$374.9 \times 40 \text{ ha} = 14\,996.06 \text{ m}^3 \text{ 40ha}^{-1} \text{ (Ver tabla 10)}$$

g) Módulo de riego (M_r) para el mes de abril (ver formula 11 pág 11)

$$(14\,996.06 \text{ m}^3 \times (1000 \text{ l} / \text{m}^3) \times \text{mes} / 30 \text{ días } 24 \text{ h} \times 60' \times 60'') / 40 \text{ ha}$$

$$M_r = 0.14 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ (Ver tabla 10)}$$

h) Caudal (l / s)

$$Q = M_r \times N^\circ \text{ ha.}$$

$$Q = 0.14 \times 40 = 5.79 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ (Ver tabla 1)}$$

f) Intervalo de riego = $I = L_n / \text{ETR} = 24.66 / 2.9 = 8 \text{ días}$, con 20.20 mm ha^{-1} .

Tabla 10. Cálculo de los requerimientos hídricos para las 40 ha del cultivo de Rye grass y trébol, del sistema de Moran Alto.

Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Rye grass (Área ha.)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Número de días mes ⁻¹	31.0	28.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0
Kc Ponderado	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ETP (mm mes ⁻¹)	84.8	68.6	68.7	70.1	79.8	50.5	75.3	68.3	67.1	86.9	89.3	86.5
ETR (mm mes ⁻¹)	84.0	68.6	68.6	70.9	79.8	50.5	75.3	68.3	67.1	86.9	89.3	86.5
DP confiable (mm mes ⁻¹)	129.8	116.6	158.1	42.8	14.6	7.6	3.3	6.5	16.4	33.4	142.1	143.8
Demanda neta (mm mes ⁻¹)	0	0	0	28.1	65.2	42.1	71.9	61.7	50.7	53.5	0	0
Demanda bruta Ef 75 % (mm mes ⁻¹)	0	0	0	37.5	86.9	57.3	95.8	82.3	67.6	71.4	0	0
Demanda unitaria (m ³ ha ⁻¹)	0	0	0	374.9	869.5	573.3	958.6	823.2	676.5	713.6	0	0
Módulo de riego (l s ⁻¹ ha ⁻¹)	0	0	0	0.14	0.32	0.22	0.36	0.31	0.26	0.27	0	0
Volumen total (m ³)	0	0	0	14 999.06	34 778.27	22 930.00	38 344.69	32 928.21	27 058.70	28 545.63	0	0
Caudal(l s ⁻¹)	0	0	0	5.79	12.98	8.85	14.32	12.29	10.44	10.66	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Balance Hídrico del sistema de riego por aspersión Moran Alto.

Descripción	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Oferta de agua (l s ⁻¹)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
Oferta de agua (m ³ mes ⁻¹)	0.0	0.0	508.90	492.48	508.90	492.48	508.90	508.90	492.48	508.90	0.0	0.0	4 021.94
Demanda total (m ³ mes ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	14999.06	34778.27	22930.00	38344.69	32928.21	27058.70	28545.63	0.0	0.0	184 585.51
Déficit(-) Total	0.0	0.0	0.0	-13997.68	-34269.38	-22437.52	-37835.80	-32419.32	-26566.22	-28036.73	0.0	0.0	-180 563.59
Demanda 8.115 ha. (m ³ mes ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	3042.93	7055.64	4651.92	7779.18	6680.31	5489.53	5791.19	0.0	0.0	40 490.72
Déficit(-) en 8.115 ha.	0.0	0.0	0.0	2041.55	6546.75	4159.44	7270.28	6171.41	4997.05	5282.30	0.0	0.0	36 468.80

Fuente: Elaboración propia.

8.1.5 El balance Hídrico de la tabla 11; indica que para todos los meses de estiaje se tiene déficit de agua, para el mes de abril que todavía hay presencia de lluvias tenemos un déficit de 14 506.58 m³ mes⁻¹, siendo el máximo déficit para el mes de Julio de 38 344.69 m³, teniendo un déficit total de 180 563.57 m³ mes⁻¹, acuerdo al requerimiento hídrico del cultivo. Pero según las evaluaciones los usuarios, solo utilizan el agua para 8.115 ha, iniciando el déficit en abril con de 2 041.55 m³ mes⁻¹ y el máximo déficit para el mes de Julio de 7 270.28 m³ mes⁻¹, para los demás meses de estiaje se tiene déficit de agua lo cual nos indica que el cultivo no satisface sus necesidades hídricas.

Tabla 12. Calculo de la perdida de agua del riego por aspersión de Moran Alto.

N° de Parc.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	Total	Min m ³ s ⁻¹	Max m ³ s ⁻¹
Agua m ³ P ⁻¹	53.35	55.23	73.22	39.96	68.26	84.67	64.58	70.63	81.65	60.70	60.26	35.42	37.58	38.66	67.61	85.10	71.71	68.47	105.62	72.14	76.68	79.06	51.19	74.95	59.62	1676.32		
Perdida de agua (m ³ P ⁻¹)	6.48	14.90	5.62	12.96	9.07	6.26	3.82	13.82	7.99	19.65	8.21	17.5	11.45	14.26	6.05	12.31	6.70	12.53	19.22	15.77	12.31	19.01	13.82	10.58	7.13	287.43	3.82	19.65
Ea P ⁻¹	89.16	81.40	92.88	75.51	88.27	93.11	94.41	83.63	91.08	75.54	88.01	66.94	76.65	73.06	91.79	87.36	91.46	84.53	84.60	82.06	86.17	80.62	78.74	87.63	89.32	85.14		

Dónde: P1...P25 = Número de parcelas; Total = Pérdida de agua por sistema; Min m³ P⁻¹ = Pérdida de agua mínimo por sistema; Max m³ s⁻¹ = Pérdida de agua máximo por sistema; Ea P⁻¹ = Eficiencia de riego por parcela; Pérdida de agua (m³ P⁻¹) = Perdida de agua m³ por parcela;

Fuente: Elaboración Propia.

8.1.6 Cálculo de la pérdida de agua en las parcelas de los usuarios de Moran Alto. En la **tabla 12**, se detalla la pérdida de agua en cada parcela de los usuarios de la comunidad de Moran Alto; esta pérdida se da específicamente en los hidrantes, en las abrazaderas de los aspersores de las líneas móviles de riego, teniendo una pérdida total de la evaluación de todos los usuarios de 287.43 m³, según el tiempo de riego que es de 6 horas, con un turno de riego de cada 30 días, regando un área por parcela de 0.3246 ha, haciendo un área total las parcelas evaluadas de 8.115 ha, regando una lámina promedio de agua de 20 mm mes⁻¹, existiendo un déficit de 75.8 mm.mes⁻¹, para el mes de Julio que fue la primera evaluación y para los demás meses se tiene una oferta de agua que se detalla en la tabla 11.

Con los datos detallados de la **Tablas 11 y 12**, se calcula la eficiencia de riego del sistema de Moran Alto; además se indica que se inició las evaluaciones cuando el reservorio estaba con un volumen de 1170.4 m³, que hacia una altura de agua de 2.865m, y sumando el volumen de agua que ingresa al reservorio en el mes de julio y la primera quincena de agosto que es de 763.35m³, haciendo un total de 1933.75m³, la pérdida total de agua en los usuarios de moran alto es de 287.43m³/riego.

Eficiencia de riego (Ea) = (h entrada – h perdida / h entrada) (ver formula 1 pág 7)

$$Ea = (1933.75 - 287.43 / 1933.75) = 0.85 (100).$$

Ea = 85%, la eficiencia de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto, sin considerar la evaporación que es un factor muy preponderante.

Tabla 13. Aforo de Cada Aspersor (l s ⁻¹) Sistema Moran Alto												PROM l s ⁻¹	Amin	Amax	L.P.A ¹	m ³ P TR ⁻¹	
1era puesta de aspersor				2da puesta de aspersor				3era puesta de aspersor									
PARCELA N° 1	0.2	0.21	0.2	0.2	0.2	0.21	0.22	0.21	0.2	0.22	0.2	0.2	0.206	0.2	0.22	17784	53.35
PARCELA N° 2	0.26	0.27	0.25	0.25	0.26	0.24	0.25	0.26	0.24	0.25	0.26	0.23	0.252	0.23	0.27	21744	65.23
PARCELA N° 3	0.3	0.3	0.3	0.33	0.31	0.31	0.28	0.25	0.24	0.26	0.25	0.26	0.283	0.24	0.33	24408	73.22
PARCELA N° 4	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16	0.14	0.14	0.15	0.14	0.154	0.14	0.17	13320	39.96
PARCELA N° 5	0.3	0.29	0.3	0.28	0.27	0.27	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.22	0.263	0.22	0.3	22752	68.26
PARCELA N° 6	0.36	0.34	0.35	0.33	0.32	0.34	0.33	0.31	0.33	0.3	0.3	0.31	0.327	0.3	0.36	28224	84.67
PARCELA N° 7	0.26	0.26	0.25	0.28	0.24	0.24	0.26	0.26	0.23	0.25	0.24	0.22	0.249	0.22	0.28	21528	64.58
PARCELA N° 8	0.3	0.29	0.28	0.28	0.26	0.26	0.3	0.25	0.26	0.3	0.25	0.24	0.273	0.24	0.3	23544	70.63
PARCELA N° 9	0.36	0.34	0.35	0.33	0.32	0.33	0.28	0.31	0.3	0.28	0.29	0.29	0.315	0.28	0.36	27216	81.65
PARCELA N° 10	0.26	0.23	0.26	0.26	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.19	0.21	0.29	0.234	0.19	0.29	20232	60.70
PARCELA N° 11	0.26	0.25	0.26	0.25	0.23	0.24	0.23	0.21	0.22	0.22	0.21	0.21	0.233	0.21	0.26	20088	60.26
PARCELA N° 12	0.14	0.15	0.15	0.13	0.12	0.15	0.13	0.12	0.14	0.13	0.13	0.15	0.137	0.12	0.15	11808	35.42*
PARCELA N° 13	0.14	0.14	0.16	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.13	0.16	0.13	0.145	0.13	0.16	12528	37.58
PARCELA N° 14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.13	0.19	0.13	0.15	0.18	0.13	0.15	0.149	0.13	0.19	12888	38.66
PARCELA N° 15	0.28	0.28	0.29	0.26	0.25	0.27	0.26	0.24	0.27	0.25	0.24	0.24	0.261	0.24	0.29	22536	67.61
PARCELA N° 16	0.36	0.35	0.37	0.33	0.35	0.35	0.28	0.31	0.34	0.26	0.31	0.33	0.328	0.26	0.37	28368	85.10
PARCELA N° 17	0.33	0.27	0.24	0.3	0.28	0.24	0.28	0.3	0.25	0.28	0.29	0.26	0.277	0.24	0.33	23904	71.71
PARCELA N° 18	0.28	0.27	0.25	0.27	0.28	0.24	0.25	0.26	0.23	0.3	0.27	0.27	0.264	0.23	0.3	22824	68.47
PARCELA N° 19	0.44	0.43	0.42	0.44	0.42	0.4	0.4	0.39	0.39	0.4	0.39	0.37	0.408	0.37	0.44	35208	105.62*
PARCELA N° 20	0.3	0.27	0.28	0.3	0.28	0.28	0.3	0.28	0.27	0.28	0.24	0.26	0.278	0.24	0.3	24048	72.14
PARCELA N° 21	0.32	0.31	0.31	0.32	0.28	0.3	0.3	0.29	0.28	0.28	0.29	0.27	0.296	0.27	0.32	25560	76.68
PARCELA N° 22	0.33	0.31	0.32	0.33	0.31	0.3	0.3	0.3	0.29	0.3	0.29	0.28	0.305	0.28	0.33	26352	79.06
PARCELA N° 23	0.25	0.23	0.22	0.22	0.2	0.21	0.18	0.19	0.19	0.15	0.17	0.16	0.198	0.15	0.25	17064	51.19
PARCELA N° 24	0.33	0.31	0.33	0.29	0.28	0.3	0.28	0.28	0.29	0.25	0.26	0.27	0.289	0.25	0.33	24984	74.95
PARCELA N° 25	0.25	0.27	0.26	0.22	0.24	0.23	0.22	0.23	0.22	0.2	0.21	0.21	0.230	0.2	0.27	19872	59.62
PROMEDIO												0.254	0.12	0.44	16 46 320	1646.32	

Dónde: PROM l s⁻¹: Promedio litro por segundo por parcela; Amin: Aforo mínimo por parcela; Amax: Aforo máximo por parcela; m³ PTR⁻¹: m³ por parcela por tiempo de riego a; l PA⁻¹: Litros por puesta de aspersores; * Parcela que recibe máximo volumen de agua = 105.62m³ P⁻¹; * Parcela que recibe mínimo volumen de agua = 35.42m³ P⁻¹.

Fuente: Elaboración propia.

8.1.7 Evaluaciones de aforamiento de los aspersores en las parcelas de los usuarios de Moran Alto.

En la **tabla 13**, se muestran los resultados de aforamiento hechos en los aspersores de cada línea de riego en los usuarios de la comunidad de Moran Alto. Cada parcela pertenece a un agricultor como se indica (plano N° 04), el sistema de riego por aspersión ejecutado por el Proyecto de Desarrollo Integral Andino (PRODIA), asigno a cada parcela un total de cuatro aspersores; y los usuarios de riego han establecido un turno de riego de cada 30 días, designando 18 horas por intervalo de riego, con puestas de cada línea de riego de 6 horas; haciendo un total de tres puestas por parcela; para medir los caudales de los aspersores se utilizó el método volumétrico.

Las evaluaciones se realizaron de la siguiente manera; se colocó una manguera en la boquilla del aspersor y posteriormente se colocó la manguera con el caudal del agua al balde con un volumen conocido, y se inició el aforamiento midiendo el tiempo que demora en llenarse el envase con volumen conocido (ver fórmula 10 de la pág. 11), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 13.

Tabla 14. Resultados de precipitación de cada aspersor por parcela en (mm) sistema Moran Alto													PP P ⁻¹	P Min P ⁻¹	P Max P ⁻¹	Pp S ⁻¹	$\sum C_i - X $	C.U.
	1era puesta de aspersor				2da puesta de aspersor				3era puesta de aspersor									
PARCELA N° 1	6,0	12,0	7,5	2,0	7,0	5,5	4,0	9,0	6,0	3,0	12,0	7,0	6,8	2,0	12,0	7,5	882,4	60,8
PARCELA N° 2	5,0	6,0	10,0	13,0	7,0	8,0	12,0	9,0	5,0	6,0	5,0	7,0	7,8	5,0	13,0			
PARCELA N° 3	11,0	8,0	9,0	5,0	13,0	6,0	7,0	15,0	5,0	7,5	8,0	10,0	8,7	5,0	15,0			
PARCELA N° 4	2,0	2,0	4,0	10,0	6,0	3,0	6,0	5,6	9,0	7,0	11,0	3,0	5,7	2,0	11,0			
PARCELA N° 5	6,0	11,0	8,0	9,0	7,0	12,0	7,0	14,0	4,0	5,0	6,0	3,0	7,7	3,0	14,0			
PARCELA N° 6	13,5	9,0	12,0	6,0	12,5	4,0	9,0	14,0	7,0	5,0	8,0	11,0	9,3	4,0	14,0			
PARCELA N° 7	5,0	8,0	2,0	12,0	8,0	7,5	7,0	8,0	5,0	6,0	10,0	5,0	7,0	2,0	12,0			
PARCELA N° 8	10,0	4,0	3,0	4,0	8,0	9,0	6,0	7,0	5,0	2,0	10,0	11,0	6,6	2,0	11,0			
PARCELA N° 9	8,0	9,0	6,0	7,0	12,0	11,0	8,0	5,0	7,0	15,0	14,0	7,0	9,1	5,0	15,0			
PARCELA N° 10	5,0	6,0	8,0	11,0	2,0	4,0	7,0	12,0	11,0	2,0	9,0	3,0	6,7	2,0	12,0			
PARCELA N° 11	5,0	11,0	6,0	8,0	13,0	6,0	8,0	7,0	3,0	4,0	4,0	6,0	6,8	3,0	13,0			
PARCELA N° 12	5,0	6,0	3,0	4,0	7,0	10,0	9,0	4,0	6,5	2,0	2,0	6,0	5,4	2,0	10,0			
PARCELA N° 13	2,0	4,0	5,0	6,0	9,0	3,5	5,5	2,0	7,0	3,0	3,0	2,5	4,4	2,0	9,0			
PARCELA N° 14	1,5	7,5	2,0	6,0	2,0	3,5	7,5	5,0	4,0	5,0	3,0	2,5	4,1	1,5	7,5			
PARCELA N° 15	9,5	4,0	5,0	9,0	14,0	10,0	6,0	6,0	4,5	11,0	12,0	8,0	8,3	4,0	14,0			
PARCELA N° 16	4,0	12,0	7,0	6,0	7,0	11,0	8,0	16,0	7,5	9,0	14,0	11,0	9,4	4,0	16,0			
PARCELA N° 17	7,0	10,0	7,0	11,0	3,0	8,0	4,0	9,0	10,0	11,0	5,0	13,0	8,2	3,0	13,0			
PARCELA N° 18	3,0	4,0	6,0	7,0	10,0	7,0	10,0	9,0	12,0	6,0	9,0	8,0	7,6	3,0	12,0			
PARCELA N° 19	11,0	14,0	12,0	6,0	6,0	10,0	17,0	16,0	14,0	13,0	10,0	5,0	11,2	5,0	17,0*			
PARCELA N° 20	3,0	8,0	10,0	7,0	7,0	4,0	12,0	5,0	10,0	9,0	11,0	7,0	7,8	3,0	12,0			
PARCELA N° 21	12,0	10,0	9,0	11,0	6,0	3,0	15,0	14,0	8,0	9,0	7,0	12,0	9,7	3,0	15,0			
PARCELA N° 22	4,0	13,0	9,0	13,0	11,0	4,0	5,0	12,0	9,0	10,0	12,0	8,0	9,2	4,0	13,0			
PARCELA N° 23	7,0	1,5	1,0	6,0	2,0	6,0	0,5	5,0	3,0	7,0	5,0	8,0	5,0	0,5*	8,0			
PARCELA N° 24	8,0	6,0	10,0	12,0	15,0	3,0	3,0	5,0	17,0	8,0	11,0	4,0	8,5	3,0	17,0			
PARCELA N° 25	8,0	10,0	2,0	10,5	7,0	6,0	3,0	7,0	7,5	5,0	6,0	5,0	6,4	2,0	10,5			

Dónde: PP P⁻¹ = Precipitación promedio por parcela; P Min P⁻¹ = Precipitación mínima por parcela; P Max P⁻¹ = Precipitación máxima por parcela;
Pp S⁻¹ = Precipitación promedio por parcela; $\sum |C_i - X|$ = Sumatoria del factorial de cada observación menos el promedio del sistema; C.U = Coeficiente de uniformidad.
Fuente: Elaboración propia.

8.1.8 Evaluaciones precipitación de cada aspersor por parcela en (mm) sistema Moran Alto. Para determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto, se utilizó una probeta graduada, depósitos descartables con un solo diámetro.

Las evaluaciones se realizaron de la siguiente manera, antes que inicie el riego de cada parcela, teniendo en cuenta el radio de alcance de cada aspersor, se colocó depósitos descartables a nivel de la superficie del suelo, después de terminado el riego se procedió a medir el agua depositada en cada deposito en una probeta graduada, obteniéndose los resultados siguientes de precipitación de cada aspersor en cada línea de riego, como se muestra en la **tabla 14**. Donde se muestra el coeficiente de Uniformidad (CU) = 60.8 % (ver formula 18 pág. 13)

Según Castañón, G. (2000), menciona que los volúmenes recogidos nos permiten determinar el CU, según el valor así determinado, en porcentaje, las instalaciones se suelen clasificar siguiendo normas como:

CU	Instalación
100 - 90	Excelente
90 - 80	Buena
70 - 80	Aceptable
> 70	Inaceptable

Tabla 15. Resultados de la presión de operación en (m.c.a.) de cada aspersor.

	1era puesta de aspersor				2da puesta de aspersor				3era puesta de aspersor				P.O.P P ⁻¹	P.O.P S ⁻¹	P.O. Max P ⁻¹	P.O.M S ⁻¹	P.O.Min P ⁻¹	P.O.Min S ⁻¹	C.Us.
PARCELA 1	18	19	18	16	18	18	15	17	15	14	17	15	16.67	24.87	19	43	14	8	47.72
PARCELA 2	22	23	21	20	21	20	19	21	19	19	20	19	20.33		23		19		
PARCELA 3	35	34	35	34	34	35	33	33	34	33	32	34	33.83		35		32		
PARCELA 4	13	12	13	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12		13		11		
PARCELA 5	33	33	32	33	31	32	31	30	31	30	29	31	31.33		33		29		
PARCELA 6	30	31	32	28	29	30	28	27	30	26	27	29	28.92		32		26		
PARCELA 7	22	22	21	20	19	20	20	20	19	18	19	18	19.83		22		18		
PARCELA 8	34	32	33	34	32	32	32	30	32	32	30	30	31.92		34		30		
PARCELA 9	35	34	34	34	33	32	33	33	31	33	31	30	32.75		35		30		
PARCELA 10	34	34	33	32	33	31	32	33	28	31	30	28	31.58		34		28		
PARCELA 11	24	23	23	18	19	20	15	16	18	12	15	14	18.08		24		12		
PARCELA 12	8	9	8	9	9	8	10	8	9	10	9	9	8.83		10		8		
PARCELA 13	10	9	8	10	9	10	9	9	8	11	9	10	9.33		11		8		
PARCELA 14	17	17	18	14	15	16	15	15	16	16	17	15	15.92		18		14		
PARCELA 15	28	27	28	26	25	27	25	24	26	25	24	25	25.83		28		24		
PARCELA 16	43	42	41	42	41	40	42	40	40	42	39	39	40.92		43		39		
PARCELA 17	29	28	28	29	27	28	29	27	27	29	26	27	27.83		29		26		
PARCELA 18	22	22	21	18	20	19	16	19	18	23	20	22	20		23		16		
PARCELA 19	40	40	39	40	39	38	39	38	38	39	38	37	38.75		40		37		
PARCELA 20	21	22	20	21	21	20	23	22	22	26	24	23	22.08		26		20		
PARCELA 21	28	28	27	27	25	27	28	26	25	29	26	25	26.75		29		25		
PARCELA 22	39	37	38	36	36	36	35	34	34	30	33	32	35		39		30		
PARCELA 23	19	18	20	19	18	18	18	17	16	17	16	16	17.67		20		16		
PARCELA 24	39	38	40	36	35	38	35	34	36	30	32	33	35.5		40		30		
PARCELA 25	24	26	25	18	23	22	15	21	20	12	18	17	20.08		26		12		

Dónde: P.O.P P⁻¹= Presión de operación promedio por parcela; P.O.P S⁻¹ = Presión de operación promedio por sistema; P.O. Max P⁻¹ = Presión de operación máxima por parcela; P.O.M S⁻¹= Presión de operación máxima por sistema; P.O.Min P⁻¹= Presión de operación mínimo por parcela; P.O.Min S⁻¹= Presión de operación mínimo por sistema; CUs = Coeficiente de uniformidad del sistema. (Fuente: Elaboración propia).

8.1.9 Evaluaciones Presión de Operación de cada aspersor en las parcelas de los usuarios Sistema Moran Alto en (m.c.a.)

Para determinar la presión de operación del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto se realizó de la siguiente manera.

Con la ayuda de un manómetro acoplado se inició a medir la presión del agua en cada aspersor, sacando el aspersor y posteriormente poniéndolo al tubo del aspersor el manómetro acoplado obteniendo los resultados que se muestra en la **tabla 15**. Con estos datos se obtiene el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto (CUs) que es de 47.72% (Ver fórmula 20 pág. 13).

Según Castañón G. (2000), indica que la variación de presiones de los aspersores nos indica la calidad de diseño y sobre todo permitirá determinar si el CU; si este resultado es bajo debido a una diferencia de presiones no adecuadas, que provocan diferencias en los caudales aportados de los aspersores; así mismo indica que la eficiencia no es el único parámetro que determina la calidad de riego, pues no debemos olvidar que este debe de aportar la cantidad de agua requerida para un correcto crecimiento del cultivo; cuando no se aporta suficiente agua se produce un déficit, que en caso de ser grande puede tener efectos muy negativos en la producción.

8.2. Evaluación de riego por aspersión del sistema de la comunidad de Apan Bajo.

Según la metodología propuesta, se presenta la información requerida para evaluar la eficiencia de riego de los sistemas de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo.

8.2.1 Diseño hidráulico del sistema por aspersión de Apan Bajo.

El diseño hidráulico comprende la elaboración y la relación física de los materiales que constituyen la obra de riego por aspersión en la comunidad de Apan Bajo ejecutado por PRODIA en el año 2008, para beneficiar a 10 familias, con un área de 12 ha.

Cada beneficiario hace uso de un hidrante para el funcionamiento de cuatro aspersores simultáneamente para irrigar un área por puesta de aspersor de 0.1042 ha, por parcela haciendo un área total por parcela de 0.3126 ha por parcela, con intervalo de riego de cada 15 días, el tiempo de funcionamiento por puesta es de 6 horas, siendo el caudal promedio de los aspersor de 684 l h⁻¹, la puesta en funcionamiento de los aspersores se efectúan con la presión de agua del reservorio que es con una capacidad de 285m³, construido en las partes altas de la parcelas, que riega cada aspersor un área de 260.5 m², el cual capta el agua del manantial denominado "Apan", que se ubica a 0.25 km del reservorio.

8.2.1.1 Cálculo de la lámina neta del riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo.

Tabla 16. Análisis físico de los suelos.

Comunidad	Dap g/cm ³	CC %	PMP %	AD %	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural
Apan bajo	1.29	29.35	16.83	12.52	37	14	49	Arcilloso

Fuente: Inia - Cajamarca 2011.

$$L_n = \left(\frac{C_c - PM}{100} \right) (D_a) (\%AUU) (Pr)$$

$$L_n = 38.76 \text{ mm (Ver fórmula 12 pág. 11)}$$

8.2.1.2 Evaluaciones obtenidas en campo del sistema en estudio.

- Pendiente media: 9 %
- Altitud media: 2900 m.
- Latitud: 6°.45'
- Área del proyecto: 12 ha.
- Eficiencia de riego del proyecto: 75 %
- Cultivo pasto: Rye grass y trébol (*Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*)
- Turno de riego: 15 días dos veces al mes.
- Tiempo de puesta de un aspersor: 6 horas.
- Radio de alcance promedio de aspersor: 12.20 m.
- Aspersores por beneficiario: 4 aspersores
- Lámina de riego promedio: 15.39 mm r⁻¹
- Con una altura de agua en el reservorio de: 1.422m, con un volumen de 135.80 m³
- Volumen del reservorio: 285 m³
- Caudal medio de los aspersores: 684 l h⁻¹
- Presión de operación media del sistema: 14.67 m.c.a.
- Aspersores con dos boquillas modelo Naan 2324.

8.2.1.3 Cálculo del volumen del reservorio de la comunidad de Apan Bajo

El volumen del reservorio se determinó midiendo con una wincha.

$$V = (A_1 + A_2 / 2) (h) \text{ (Ver plano N° 05)}$$

Dónde:

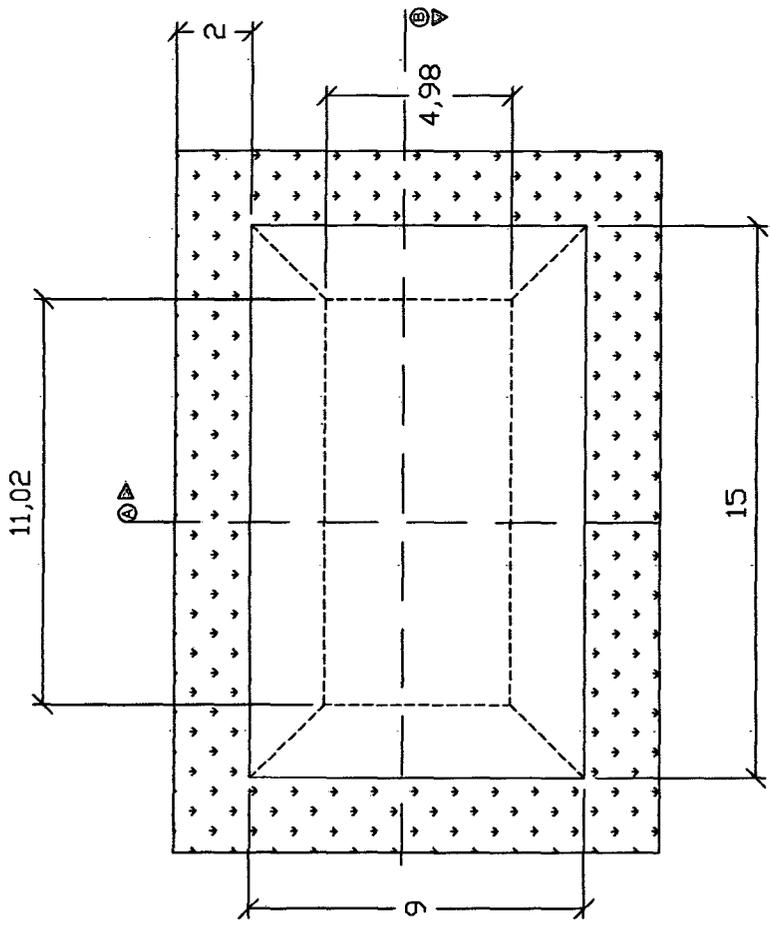
$$x^2 = 2^2 + 3^2 \quad x = 3.60$$

$$A_1 = 15 * 9$$

$$A_2 = 11.08 * 4.98 \quad A_2 = 55$$

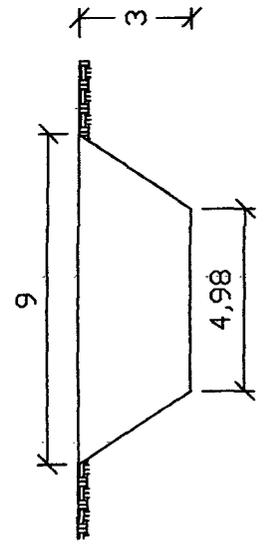
$$V = (135 + 55 / 2) 3 \quad V = 285 \text{ m}^3$$

PLANO DEL RESERVORIO SISTEMA APAN

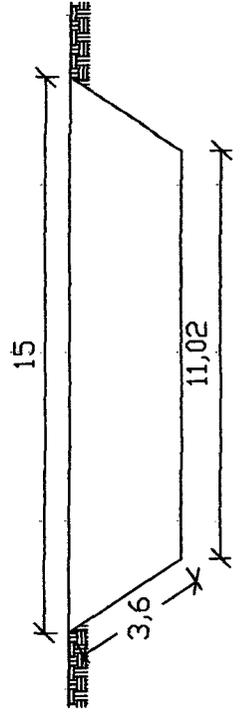


DETALLE DE PLANTA
LAMINA N°: 05

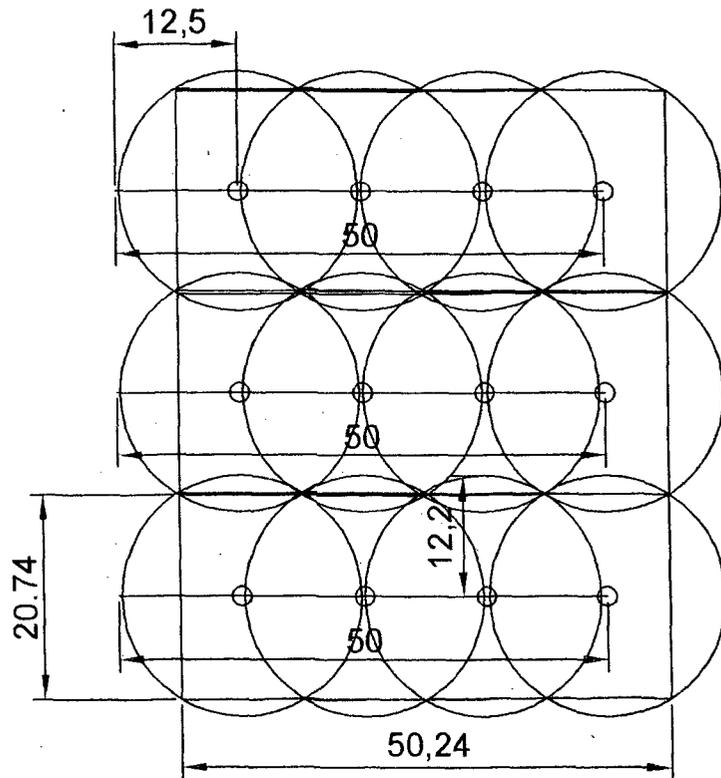
CORTE A



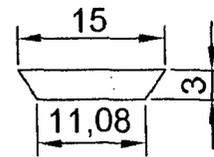
CORTE B



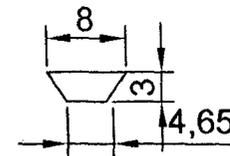
DETERMINACION DEL MARCO DE RIEGO SISTEMA
DE RIEGO POR ASPERSION APAN BAJO



MARCO DE RIEGO
AREA = 0.1042 ha.



VOLUMEN
TOTAL
RESEVORIO
=285m³



AREA REGADA POR
PARCELA = 0.3126 ha.

LAMINA N°: 7

8.2.1.4 Medición del caudal del manantial denominado “Apan” que abastece al reservorio

Para determinar el caudal del manantial denominado “Apan” que abastece a dicho reservorio, se utilizó el método volumétrico por ser el más exacto; este método consiste en hacer llegar la corriente del agua a un depósito de volumen (V) conocido, y luego medir el tiempo (t) con un cronometro que tarda en llenarse dicho depósito.

$$\text{Calculo } Q = V t^{-1} \text{ (Ver formula 10 pág. 11)}$$

Donde:

$$V = 4 \text{ l.}$$

$$t = 11.418 \text{ s.}$$

$$Q = 0.35 \text{ l s}^{-1}$$

8.2.1.5 Información Meteorológica.

Tabla 17. Datos climatológicos mensuales desde el año 1994 al 2006 para el sistema Apan Bajo.

MES/AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
1994	124	168	198	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	111	176.7
1995	156	178.5	181.8	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22	111.9	145.6	141.3
1996	111.4	187.3	143.9	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	167.3	187.4
1997	176	138.9	162.7	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	128.1	118.4
1998	198.6	199.2	193.1	80	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	194.1
1999	149	168.6	139.4	41.9	53	0.4	4.8	18.3	37.3	50	123.9	140.3
2000	153.3	167.5	194	120.2	16	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	151.8
2001	129.1	171.8	135.7	52.2	11.2	4	10.8	12.3	39.5	37.2	174.3	161.5
2002	134	123.8	217	95.6	10.6	5.4	0	0.4	32.9	69.4	165.2	163.4
2003	159.2	142.9	167.2	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	147.1	112.7
2004	165	176.5	192.2	62	28	10.7	6.8	10.3	28.7	73.3	161.2	164.2
2005	183.7	173.1	145.8	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	115.1	171.9
2006	136.5	189.3	187.3	93.8	61.1	3.3	3.9	15.1	27	20.7	148.3	146.3
PPM	153.3	166.3	172.6	70.8	26.3	8.6	6.1	9.1	27.3	77.6	133.6	157.0
T° Media	14.6	14.5	14.4	14.4	13.9	13.9	13	13.6	14.3	14.3	14.4	14.6
Humedad Relativa	75	77	77	78	74	68	64	65	68	71	70	72
Viento m/s	1.05	0.89	1.03	0.87	0.94	1.08	1.34	1.28	1.24	1.05	1.16	1.12

Fuente: Estación Meteorológica SENAMHI – Bambamarca.

Con los datos de la **Tabla 17**, se determinó mensualmente la evapotranspiración potencial en mm mes⁻¹, según método de Hargreaves, los resultados nos han permitido desarrollar el cuadro de la (**tabla 18, 20**), relacionando los requerimientos de las necesidades hídricas de cultivo de pasto Rye grass, cuyo requerimiento total para las 12 ha, para el mes de mayor consumo es de 17 629 m³, para el mes de agosto; los usuarios con el caudal de agua que tienen solo riegan 6.252 ha, con un volumen de 1097.32m³, según la demanda del cultivo se necesitan de 9 184.72 m³ mes⁻¹ y para los demás meses de estiaje (Ver tabla 21) y durante los meses de noviembre a marzo debido a la presencia de lluvias los requerimientos de riego son casi nulos, o no hay necesidad de prácticas de riego.

8.2.2 Cálculos de la ETP según Hargreaves

$$ETP = MF \times \text{°F} \times CH \text{ (Ver formula 4 pág. 9)}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial mm mes⁻¹.

MF = Factor de latitud.

°F = Temperatura media mensual.

CH = factor de corrección por humedad = $0.166(100 - HR)^{1/2}$

8.2.2.1 Cálculo MF: Esta en función de la latitud (6° 45')

$$\text{Latitud } 6^{\circ}45' = 60'' = 1' \quad 60' = 1 \text{ h} = 6.75^{\circ}$$

Cálculo del factor de corrección mensual (MF), se calcula según (tabla 07) está en función la latitud. (6°.45'0"), esto es igual a 6.75° mediante interpolación se obtiene:

6°		2.447
6.75°		MF
7°		2.478

Luego para el mes de enero será igual: MF = 2.4702, este mismo método para todos los meses del año; interpolando (Ver tabla 18)

8.2.2.2 Cálculo de la temperatura media mensual °F. Se calculó de acuerdo a la temperatura media mensual. Se calculó de acuerdo a la temperatura media

Para el mes de enero $\text{°F} = 9 / 5 (14.6) + 32$ $\text{°F} = 58.28$ (Ver tabla 18)

8.2.2.3 Cálculo del coeficiente (CH). Depende de la humedad relativa.

$CH = 0.166 \cdot (100 - HR)^{1/2}$; para HR mayor a 64%; y para menor a 64 % $CH = 1$ (Ver formula 4 pág. 09).

Para Enero $CH = 0.166 (100 - 75)^{1/2} = 0.78$, el mismo método para todos los meses del año. (Ver tabla 18).

8.2.2.4 Cálculo de la (ETP).

a) Cálculo de la ETP mm / mes (Ver formula 4 pág. 09).

$$ETP (\text{enero}) = MF \times \text{°F} \times CH$$

$$ETP = 2.47 \times 58.28 \times 0.83 \quad ETP = 119.48 \text{ mm mes}^{-1} (\text{Ver tabla 18}).$$

8.2.2.5 Cálculo la ETR

$$ETR = Kc \cdot ETP (\text{Ver formula 5 pág. 9}).$$

$C = 1.0$ Obtenido de (tabla 03 pág. 13) cultivo (pastos) de (Rye grass).

$$ETR (\text{enero}) = 1 \times 119.47 = 119.48 \text{ mm mes}^{-1} (\text{Ver tabla 18})$$

Tabla 18. Resultados de la evapotranspiración potencial del cultivo (ETP) y Evapotranspiración real (ETR) mm.mes⁻¹.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
MF	2,47	2,22	2,36	2,1	1,83	1,79	1,91	2,09	2,22	2,43	2,38	2,47
°F mes ⁻¹	58,28	58,1	57,92	57,92	57,02	57,02	55,4	56,48	57,74	57,74	57,92	58,28
CH mes ⁻¹	0,83	0,79	0,79	0,78	0,85	0,94	0,99	0,98	0,94	0,89	0,90	0,88
ETP mes ⁻¹	119,48	101,90	107,99	94,87	88,69	95,94	104,76	115,68	120,49	124,87	124,06	126,68
KC	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETR mes ⁻¹	119,48	101,90	107,99	94,87	88,69	95,94	104,76	115,68	120,49	124,87	124,06	126,68

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Cálculo de precipitación confiable (PD).

$$PP_{75} = -0.645 \cdot SD + PM (\text{Ver formula 07 pág. 10})$$

Donde:

PP = Precipitación confiable (mm mes⁻¹)

SD = Desviación estándar de la serie

PM = Precipitación media (mm mes⁻¹)

a) Cálculo de la desviación estándar:

Para Enero SD = 25.0 (Ver tabla 19)

b) Cálculo de la precipitación media para el mes de enero

$$PM = 152.0 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 19)}$$

c) Cálculo de la precipitación confiable en el mes de Enero (PD)

$$DP = -0.6745 \times 25 + 152.0 = 135.837 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 19)}$$

Tabla 19. Con los datos de la tabla 17, se calculó la precipitación confiable, según detalle en mm mes⁻¹.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
PM	152.0	168.1	173.7	72.6	29.0	8.2	5.9	9.6	27.3	73.2	134.7	156.2
$\sum x$	1975.8	2185.4	2258.1	943.7	377	106.5	76.6	124.6	354.5	951.6	1750.9	2030
SD	25.0	21.3	26.3	28.8	20.6	7.3	6.2	6.3	15.9	36.8	31.5	24.4
$\sum x^2$	307812.2	372836	400528.8	78484.9	16014.3	1514.9	919.2	1675.2	12686.7	85919.7	247715	324126.1
DP	135.837	154.358	156.740	53.992	15.727	3.473	1.865	5.501	17.037	49.455	114.377	140.427
75%												

Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Diseño Agronómico.

a) Cálculo de la demanda unitaria neta mm mes⁻¹.

$$\text{Abril} = 94.87 - 53.99 = 40.88 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 20)}$$

b) Cálculo de la demanda bruta (mm.mes⁻¹)

$$Dn/Ef = 40.88 / 0.75 = 54.51 \text{ mm mes}^{-1} \text{ (Ver tabla 20)}$$

c) Cálculo de la demanda unitaria neta m³ ha⁻¹ mes⁻¹ Se multiplica simplemente por 10

$$\text{Abril: } 54.51 \times 10 = 545.08 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$545.08 \text{ m}^3 \times 12 \text{ ha} = 6540.95 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \text{ (Ver tabla 20)}$$

d) Módulo de riego (Mr) para el mes de abril

$$(6540.95 \text{ m}^3 \times (1000 \text{ l} / \text{m}^3) \times \text{mes} / 30 \text{ días } 24 \text{ h} \times 60' \times 60'') / 12 \text{ ha} \text{ (Ver fórmula 11 pág. 11)}$$

11)

$$Mr = 0.21 \text{ l} / \text{s} / \text{Ha. (Ver tabla 20).}$$

e) Caudal (l / s) $Q = Mr \times N^\circ \text{ Ha. } Q = 0.21 \times 12 = 2.52 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ (Ver tabla 20)}$

f) Intervalo de riego $IR = Ln / ETR \quad IR = 38.76 / 4.16 = 9.3 \text{ días con } 30.33 \text{ mm ha}^{-1}.$

Tabla 20. Cálculo de los requerimientos hídrico para las 12 ha, del cultivo de Rye grass, del sistema de Apan Bajo.

Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	m ³ /año
Rye grass (Área ha.)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	
Número de días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Kc Ponderado	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
ETP (mm.mes ⁻¹)	119.48	101.90	107.99	94.87	88.69	95.94	104.76	115.68	120.49	124.87	124.06	126.68	
ETR (mm.mes ⁻¹)	119.48	101.90	107.99	94.87	88.69	95.94	104.76	115.68	120.49	124.87	124.06	126.68	
DP confiable (mm.mes ⁻¹)	135.84	154.36	156.74	53.99	15.73	3.47	1.87	5.50	17.04	49.46	114.38	140.43	
Demanda neta (mm.mes ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	40.88	72.97	92.47	102.89	110.18	103.45	75.42	9.69	0.0	
Demanda bruta (mm.mes ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	54.51	97.29	123.29	137.19	146.91	137.94	10056	12.92	0.0	
Demanda unitaria (m.ha ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	545.08	972.90	1232.9	1371.88	1469.08	1379.40	1005.59	129.17	0.0	
Módulo de riego (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	0.21	0.36	0.48	0.51	0.55	0.53	0.38	0.05	0.0	
Volumen total (m ³)	0.0	0.0	0.0	6540.95	11674.82	14795.02	16462.5	17629.0	16552.8	12067.1	1550.02	0.0	90 731.27
Caudal (l.s ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	2.52	4.36	5.71	6.15	6.58	6.39	4.51	0.60	0.0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Balance Hídrico del sistema de riego por aspersión Apan Bajo.

Descripción	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OC	NOV	DIC	TOTAL
Oferta de agua (l.s ⁻¹)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
Oferta de agua (m3)	0.0	0.0	937.4	907.2	937.4	907.2	937.4	937.4	907.2	937.4	907.2	0.0	8 316.00
Demanda total (m3)	0.0	0.0	0.0	6540.95	11674.82	14795.02	16462.5	17629.0	16552.8	12067.1	1550.02	0.0	90 731.27
Déficit(-)	0.0	0.0	0.0	-4696.3	-10737.4	-13887.8	-15525.1	-16691.6	-15645.6	-11129.6	-642.8	0.0	
Demanda 6.25ha.	0.0	0.0	0.0	3407.84	6082.58	7708.20	8576.98	9184.72	8623.99	6286.95	807.56	0.0	50 678.83
Déficit(-) 6.25ha.	0.0	0.0	0.0	-1563.20	-5145.14	-6801.00	-7639.54	-8247.28	-7716.79	-5349.51	99.64	0.0	-42 362.83

Fuente: Elaboración propia.

8.2.5 El balance hídrico de la comunidad de Apan Bajo. La tabla 21 indica que todos los meses de estiaje tienen un déficit de agua iniciando con el mes de abril que todavía hay lluvia tenemos déficit de agua de 5 633.3, siendo el máximo déficit para el mes de agosto es de 16 691.6m³ para todo el sistema, como se muestra en los datos detallados de la tabla 21; pero las evaluaciones solo se realizaron según los usuarios hacen uso del agua, solo utilizan el agua para 6.25 ha, iniciando el déficit para el mes abril tienen un déficit de 1 563.20 m³ mes⁻¹ y el máximo déficit para el mes de agosto de 8 247.23 m³ mes⁻¹, para los demás meses de estiaje tenemos déficit de agua lo cual nos indica que el cultivo no satisface sus necesidades hídricas.

Tabla 22. Calculo de la perdida de agua del riego por aspersión en Apan Bajo.

N° de Parcelas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Total	Min m ³ s ⁻¹	Max m ³ s ⁻¹
Agua aplicada m ³ Parcela-1	129.60	122.90	167.62	116.64	90.72	113.62	94.61	44.45	47.52	34.56	962.24		
Perdida de agua m ³ TR ⁻¹	12.096	7.344	19.440	18.576	9.936	6.480	7.646	27.648	17.712	8.208	135.0	5.616	27.648
Ea P ⁻¹	91.46	94.36	89.61	86.26	90.13	94.60	92.52	61.65	72.85	80.81	87.69		

Dónde: P1...P10 = N° Parcelas; Total = Perdida de agua por sistema; Min m³ P⁻¹ = Perdida de agua mínimo por sistema; Max m³ s⁻¹ = Perdida de agua máx por sistema; Ea P⁻¹: Eficiencia de riego por parcela; Perdida de agua (m³P⁻¹) = Perdida de agua m³ por parcela.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.6 Cálculo de la pérdida de agua en las parcelas de los usuarios de Apan Bajo.

En la **tabla. 21**, se detalla la pérdida de agua en cada parcela de los usuarios de la comunidad de Apan Bajo; estas pérdida se da específicamente en los hidrantes y en las abrazaderas de los aspersores de las líneas de riego, teniendo una pérdida total de 135.0 m³ según el tiempo de riego que es de 6 horas, con un intervalo de riego de cada 15 días, regando un área/parcela de 0.6252 ha, haciendo un área total de 6.252 ha, regando una lámina de agua de 15.39 mm mes⁻¹, existiendo un déficit de 131.52 mm.mes⁻¹, para el mes de agosto que fue la primera evaluación realizada y para los demás meses se tiene una oferta de agua que se detalla en la tabla 26.

Con los datos detallados de la **tabla. 21, 22**, se calcula la eficiencia de riego del sistema de Apan Bajo; se indica que se inició las evaluaciones cuando el reservorio estaba con altura de agua de 1.422m, que hacía un volumen de 135.086 m³ y sumando el volumen de agua que ingresa al reservorio en el mes de agosto que es de 937.44m³/mes, haciendo un total de 1097.32 m³, la pérdida total de agua en los usuarios de moran alto es de 135.0 m³.

Según la fórmula de eficiencia de aplicación.

$$(Ea) = (h \text{ entrada} - h \text{ perdida} / h \text{ entrada}) \text{ (Ver Formula 1 pág. 7)}$$

$$Ea = (1097.32 - 135.0 / 1097.32) = 0.876 (100).$$

Ea = 87.6 %, la eficiencia de aplicación de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo, sin considerar la evaporación.

Tabla 23. Resultados del aforamiento en ($l\ s^{-1}$), de cada aspersor en la parcela de cada usuario del sistema de riego de Apan Bajo.

	1 ^{era} evaluación				2 ^{da} evaluación				3 ^{ra} evaluación				PROM I.S ⁻¹	Amin	Amax	I P.A ⁻¹	m ³ PTR ⁻¹	m ³ MaxP ⁻¹	m ³ MinP ⁻¹	
PARCELA N° 1	0,26	0,26	0,25	0,26	0,25	0,24	0,26	0,24	0,24	0,23	0,28	0,24	0,23	0,25	0,23	0,28	21600	129,60	167,62	34,56
PARCELA N° 2	0,24	0,23	0,22	0,35	0,24	0,22	0,24	0,23	0,21	0,22	0,24	0,24	0,21	0,24	0,21	0,35	20484	122,90		
PARCELA N° 3	0,33	0,32	0,33	0,33	0,32	0,31	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,32	0,31	0,33	27936	167,62*		
PARCELA N° 4	0,24	0,23	0,22	0,24	0,24	0,21	0,24	0,21	0,21	0,23	0,21	0,22	0,22	0,23	0,21	0,24	19440	116,64		
PARCELA N° 5	0,18	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,17	0,19	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,18	0,16	0,19	15120	90,72		
PARCELA N° 6	0,22	0,23	0,24	0,21	0,22	0,24	0,2	0,22	0,23	0,19	0,21	0,22	0,22	0,22	0,19	0,24	18936	113,62		
PARCELA N° 7	0,17	0,16	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,16	0,2	15768	94,61		
PARCELA N° 8	0,11	0,19	0,08	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,06	0,083	0,07	0,06	0,06	0,09	0,06	0,19	74088	44,45		
PARCELA N° 9	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,12	7920	47,52		
PARCELA N° 10	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	5760	34,56*		
Resultados total sistema													0,19	0,06	0,35	160372,8	962,24			

Dónde: PROM I.S⁻¹: Promedio litro por segundo por parcela; AMIN: Aforo mínimo por parcela; AMAX: Aforo máximo por parcela; m³ P TR⁻¹: Tiempo de riego m³ por parcela; I PA⁻¹: Litros por puesta de aspersores de las líneas móviles; m³ MaxP⁻¹ = Parcela que recibe máximo volumen de agua = 129.60m³ P⁻¹; m³ MinP⁻¹ = *Parcela que recibe mínimo volumen de agua = 34.56m³ P⁻¹.

Fuente: Elaboración propia (Ver formula 10).

8.2.7 Resultados de aforamiento de los aspersores en las parcelas de Apan Bajo.

En la **tabla 23**, se indican los resultados de aforos hechos en cada aspersor de cada línea de riego, de cada uno de los usuarios de la comunidad Apan Bajo. Cada parcela pertenece a un agricultor como se indica en el (plano N°06), el sistema de riego por aspersión ejecutado por el Proyecto de Desarrollo Integral Andino (PRODIA), asigno a cada parcela un total de cuatro aspersores; y los usuarios de riego han establecido un turno de riego cada 15 días, establecido puestas cada línea de riego de cada 6 horas; haciendo un total de tres puestas por parcela dos veces al mes; para realizar los aforos se utilizó el método volumétrico.

Las evaluaciones se realizaron de la siguiente manera; se colocó una manguera en la boquilla del aspersor y el caudal de la manguera se colocó al balde con un volumen conocido, y se inició el aforamiento midiendo el tiempo que demora en llenarse dicho deposito (ver fórmula 10 de la pág. 11), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 23.

Tabla 24. Resultados de la presión de operación en (m.c.a.) de cada aspersor.

	Presión de operación (m.c.a.) Comunidad de Apan Bajo												P.O.P P ⁻¹	P.O.P S ⁻¹	P.O.Max P ⁻¹	P.O.M S ⁻¹ .	P.O.Min P ⁻¹	P.O.Min S ⁻¹	C Us.
PARCELA N° 1	20	21	22	24	21	21	24	20	20	23	20	20	21.33	14.67	24	26	20	5	39.68
PARCELA N° 2	24	23	25	25	24	26	26	25	26	26	25	25	25.00		26		23		
PARCELA N° 3	20	21	22	24	21	21	24	20	20	23	20	20	21.33		24		20		
PARCELA N° 4	22	21	20	22	22	19	21	19	20	21	19	20	20.50		22		19		
PARCELA N° 5	15	16	15	15	15	14	14	14	13	13	14	12	14.17		16		12		
PARCELA N° 6	13	12	12	12	11	11	12	11	12	11	12	11	11.67		13		11		
PARCELA N° 7	14	15	14	14	15	13	13	15	12	13	13	12	13.58		15		12		
PARCELA N° 8	12	13	12	12	11	12	12	11	12	11	12	11	6.83		13		11		
PARCELA N° 9	8	7	7	6	7	7	8	6	6	8	6	6	6.83		8		6		
PARCELA N° 10	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5.42		6		5		

Dónde: P.O.P P⁻¹= Presión de operación promedio por parcela; P.O.P S⁻¹ = Presión de operación promedio por sistema; P.O. Max P⁻¹ = Presión de operación máxima por parcela; P.O.M S⁻¹= Presión de operación máxima por sistema; P.O.Min P⁻¹= Presión de operación mínimo por parcela; P.O. Min S⁻¹= Presión de operación mínimo por sistema; CUs = Coeficiente de uniformidad del sistema (ver formula 20 pág. 13)

Fuente: Elaboración propia.

8.2.8 Evaluación de presión de operación de cada aspersor en las parcelas de los usuarios del sistema Apan Bajo en (m.c.a.)

Para determinar la presión de operación del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo se realizó de la siguiente manera.

Con la ayuda de un manómetro acoplado, se inició a medir la presión del agua en cada aspersor; sacando el aspersor y posteriormente poniéndolo al tubo del aspersor, el manómetro acoplado, obteniendo el siguiente resultado que se muestra en la **tabla 24**. Con estos datos se calculó la uniformidad del sistema (UDs) que es de 39.68%, del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo; esto debido a que el desnivel la topografía de las parcelas con relación al reservorio no es el adecuado, por lo cual los aspersores no tienen presión uniforme.

Tabla 25. Resultados de la precipitación de cada aspersor en las parcelas del caserío de Apan Bajo.

	Precipitación de operación de cada aspersor en las líneas móviles de riego de las parcelas evaluadas												PP P ⁻¹	P P S ⁻¹	Σ Ci- X	C.U.
	1era puesta de aspersor				2da puesta de aspersor				3era puesta de aspersor							
PARCELA N° 1	14	11	13	8	8.5	17	12	10	5	9.5	7	9	10.33	7.33	437.6	50.25
PARCELA N° 2	11	6	7	11.5	11	12	16	5	9	12	8.5	11	10.00			
PARCELA N° 3	18	9	12	5	15	10	8	12	19	11	14	10	11.92			
PARCELA N° 4	8	12	14	6	11	6.5	8	9	4	10	13	7	9.04			
PARCELA N° 5	7	9.5	6.5	6.5	13	9	6	4	8	4.5	3	4	6.75			
PARCELA N° 6	11	7	9	10	14	6	8	5	9.5	10.5	12	7.5	9.13			
PARCELA N° 7	5	11	9.6	4	5	6	5.5	8.7	3	10	12	7.9	7.31			
PARCELA N° 8	4	3	2	1.5	5	8	2	3	4.5	3.5	2.8	2	3.44			
PARCELA N° 9	5.9	4.5	2	1.5	2.8	4.8	5.6	4	1.5	2.5	1	2	3.18			
PARCELA N° 10	2	1.5	5.7	1	1.8	5	2.5	2.8	1.5	1.1	1.4	0.5	2.23			

Dónde:= PP P⁻¹ Precipitación promedio por parcela; P P S⁻¹ = Precipitación promedio del sistema; Σ |Ci- X| = Sumatoria del factorial de cada observación menos el promedio del sistema; C.U. Coeficiente de uniformidad (ver formula 18 pág.13)

Fuente: Elaboración propia.

8.2.9 Evaluación de precipitación de los aspersores por parcela en (mm) sistema Apan Bajo.

Para determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo se realizó utilizando una probeta graduada, depósitos descartables con un solo diámetro.

Las evaluaciones se realizó; teniendo en cuenta el radio de alcance de cada aspersor, se colocó depósitos descartables a nivel de la superficie del suelo, después de terminado el riego se procedió a medir el agua depositada en cada deposito con la probeta graduada, obteniéndose los resultados siguientes de precipitación de cada aspersor en cada línea de riego, como se muestra en la **tabla 25**. Donde se muestra el coeficiente de Uniformidad (C.U.) = 50.25 %, esto debido a la gran diferencia de presiones de los aspersores de una parcela con relación a las otras, que se be también reflejado en los caudales de los aspersores.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La eficiencia de aplicación de riego por aspersión de la comunidad de Apan Bajo es de 87.7 %, y en la comunidad de Moran Alto es de 85.14 %; la frecuencia de riego es distante, en Moran Alto es de treinta días y en Apan Bajo cada quince días, no siendo la adecuada.

Los caudales registrados de las fuentes de agua de los sistemas de riego por aspersión de Apan Bajo y Moran Alto es de 0.35 l s^{-1} , 0.19 l s^{-1} ; según estos datos para Apan Bajo se cuenta con una lámina de agua promedio de $16.60 \text{ mm mes}^{-1}$, regando un área de 6.252 ha; necesitamos cubrir la demanda promedio de $101.33 \text{ mm mes}^{-1}$, existiendo un déficit de $84.73 \text{ mm mes}^{-1}$.

Para el sistema de riego por aspersión de Moran Alto se tiene una lámina de agua promedio de 7.08 mm mes^{-1} , con esa disponibilidad de agua los usuarios riegan un área de 8.115 ha; según el requerimiento del cultivo se necesita 75.8 mm mes^{-1} , existiendo un déficit promedio de $68.72 \text{ mm mes}^{-1}$.

El coeficiente de uniformidad (CU), de riego por aspersión de la comunidad de Moran Alto es de 60.8 % y de Apan bajo es de 50.25 %. Así mismo el (CUs) uniformidad del sistema de la comunidad de Apan Bajo es de 39.68 % y de Moran Alto es de 47.72 %, los coeficientes de uniformidad de estos sistemas son inaceptables.

Se recomienda realizar trabajos de infraestructura de riego se debe iniciar con la información básica necesaria de las fuentes; suelo, disponibilidad de agua, el cultivo a instalar, del clima (humedad relativa, temperatura, precipitación y viento), para el cálculo respectivo.

Los alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca deben participar en investigación en riego, orientados al manejo y optimización de los recursos hídricos.

Con la finalidad de ampliar la frontera agrícola se debe identificar otras fuentes de agua, y realizar el estudio hidrológico; además la frecuencia de riego debe realizarse según diseño agronómico.

CAPÍTULO X

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Anten, M. y Willet, H. 2000. "Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera" PRONAMACHS. Cajamarca - Perú. Pág. 70.

Castañón, G. 2000. Ingeniería De Riego y Utilización Racional Del Agua. Editorial Paraninfo S.A. México. Pág. 198.

García, I. y Briones. 1997. Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo. Editorial Trillas. S.A. 1^{ra} ed. Pág. 461.

García, A. et al 1994. Pequeños Proyectos de Riego. Ediciones Luís Valera. Lima Perú. Pág. 535

Gallegos, A. 1997. Aptitud agrícola de los suelos. Editorial trillas 1^oed. México. pág 207.

Gurovich, L. 1999. Riego Superficial Tecnificado. Editorial Alfaomega, 2^{da} Ed. México. Pág. 610.

Gurovich, L. 2001. Riego superficial tecnificado. 4ta ed. Ediciones Universidad Católica de Chile. Pág. 615.

Heredía, O. Conti, M. 1997. "Interpretación de análisis de agua para riego complementario en la región pampeana". Congreso Internacional sobre aguas. Libro de resúmenes. III – 82. Argentina.

Hudson. 1982. Conservación del suelo. Editorial Reverte S .A. Barcelona España. pág. 335

López, E. et al 2006. Manual de Riego Agrícola. Editorial Trillas. 1ra ed. México Pág. 79.

López, R. y López, M.1990. El diagnostico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ediciones Mundi prensa. 4^o Ed. España. Pág. 363.

Losada, A. 2009 Fundamentos hidráulicos. Ediciones Mundi – prensa 4^{ta} Ed Madrid. Pág. 461

Medina, J. 2000. Riego por goteo. 4^{ta} ed. Editorial Mundi Prensa. México. Pág. 302.

Moya, J. 2002. Ediciones Mundi - Prensa 3^{ra} ed. España .Pág. 533.

Olarte, W.1987. Manual de Riego Por Gravedad. Comisión de Coordinación Técnica Andina CCTA. 1^{ra} Ed. Lima Perú. Pág. 148.

Olate, W y Soto, F. 2002. Diseño y Gestión de Riego por Aspersión en Laderas. 1^{era} ed. Cusco-Perú. Pág. 181.

Pritchett, W. 1986. Suelos Forestales Propiedad Conservación y Mejoramiento. Editorial Limsa.1^{era} ed. España. Pág. 634.

Purizaca, A. y Andonaire, 1990. Estudio de prefactibilidad de proyecto de irrigación a presión para el desarrollo de la Unidad Agraria Milagro de San Antonio Olmos. Tesis Ing. Agrícola. Universidad. Pedro Ruiz Gallo Lambayeque. Pág. 152.

Salazar, J. 2010, "Frecuencia de agua de riego por aspersión en el cultivo de rye grass mas trébol en el caserío en el caserío de San Mateo de Quilcate – San Miguel de Pallaques". Tesis Ing. Agrónomo. UNC. Cajamarca Perú. Pág. 65.

Santa, J. y Silva A.1995. Disponibilidad del agua subterránea para riego complementario en las provincias de Santafé y Buenos Aires Argentina Pág. 86

Sangardoy, J. et. al. 1991. Organización Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Riego. FAO. Pág. 151

Tarjuelo, J. 1999. El Riego Por Aspersión y su Tecnología. 2^{da} edición ampliada. Editorial Mundi - Prensa España 569 Pág.

Tarjuelo, J. 1995. El Riego Por Aspersión y su Tecnología. 2da edición. Ediciones Mundi - Prensa. España 152 Pág.

Villanueva, C. 2011. Gestión del agua de riego en la cuenca del rio Llaucano Provincia de Hualgayoc. Tesis. Ing. Agrónomo. UNC. Cajamarca Perú 50 Pág.

www.Atlascajamarca.info/index.php.

Zapata, M. y Segura, P. 2001. Riego deficitario controlado. Editorial Mundi Prensa. España. Pág. 188.

ANEXO



Figura 1. Obtención de las muestras para el análisis físico de suelos de la comunidad de Apan Bajo



Figura 2. Aforo de un aspersor en una parcela de la comunidad de Moran Alto.



Figura 3. Deposito para evaluar la precipitación de los aspersores en la comunidad de Apan Bajo.



Figura 4. Manómetro evaluando la presión de operación de un aspersor en una parcela de la comunidad de Moran Alto.



Figura 5. Pérdida de agua en la abrazadera del aspersor en una parcela de la comunidad de Moran Alto.

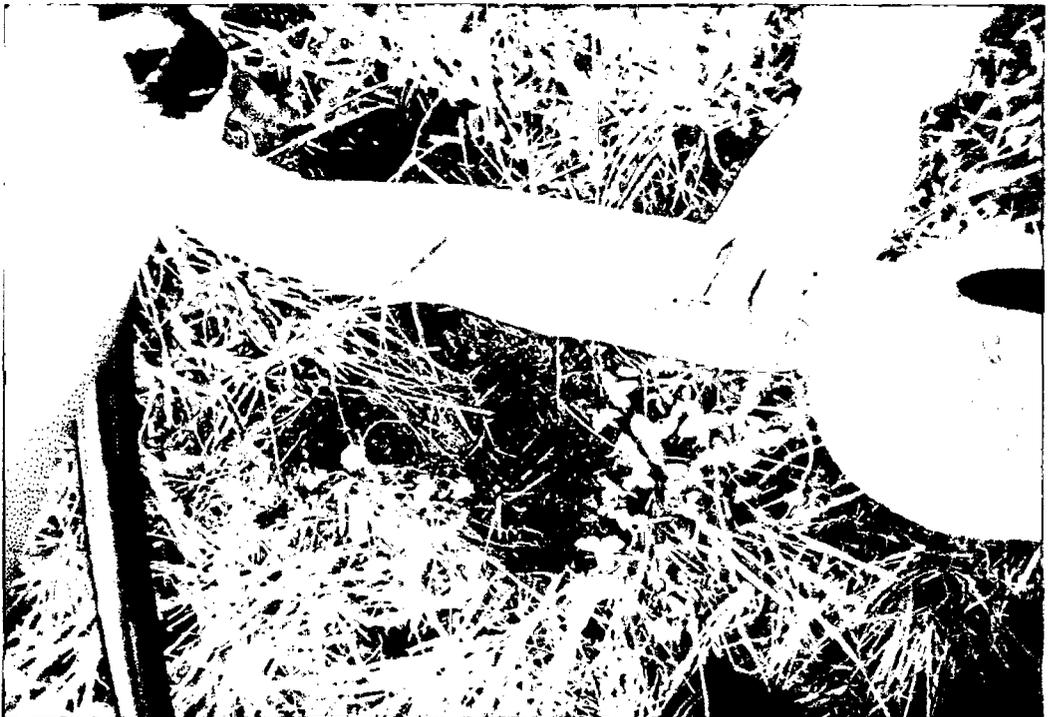


Figura 6. Fugas de agua en el hidrante del aspersor en la comunidad de Moran Alto.



Figura 7. Medición de la precipitación de un aspersor en la comunidad de Apan Bajo.



Figura 8. Medición del reservorio para calcular el volumen del reservorio del sistema de riego por aspersión de Apan Bajo.



"AÑO DEL CENTENARIO DE MACHU PICCHU PARA EL MUNDO"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **PRODIA**

PROCEDENCIA : Hualgayoc – Comunidad Morán Alto = $t_n = 36.32mm$ Fecha: **26/08/2011**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	Dap g/cm ³	C.C. %	P.M.P. %	A.D. %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Morán Alto	SU0461-EEBI-11	1.25	17.75	9.53	8.22	61	16	23	Franco arcillo arenoso

Dap: densidad aparente

Parámetro hídricos: CC= Capacidad de campo; PMP=Punto de marchitez permanente; AD= agua disponible

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a Sembrar:

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad												

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
[Signature]
Ing. **Felipe A. Velásquez Camacho**
JEFE LABORATORIO DE SUELOS





PERÚ

Ministerio de Agricultura

Instituto Nacional de Innovación Agraria

Estación Experimental Baños del Inca

"AÑO DEL CENTENARIO DE MACHU PICCHU PARA EL MUNDO"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : PRODIA

PROCEDENCIA : Hualgayoc -Bambamarca Comunidad Apán Bajo Fecha: 26/08/2011
Ln = 53.29 mm.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Table with 10 columns: Nombre Parcela, Código Laboratorio, Dap g/cm³, CC %, PMP %, AD %, Arena %, Limo %, Arcilla %, Clase Textural. Row 1: Apán Bajo, SU0460-EEBI-11, 1.29, 29.35, 16.83, 12.52, 37, 14, 49, Arcilloso

Dap: densidad aparente

Parámetro hídricos: CC= Capacidad de campo; PMP=Punto de marchitez permanente; AD= agua disponible

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a Sembrar:

Table with 13 columns: NUTRIENTES, N, P2O5, K2O, CAL, N, P2O5, K2O, CAL, N, P2O5, K2O, CAL. Row 1: Cantidad

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
Estación Experimental Baños del Inca
Ing. Julio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

