



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO PARA
INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE RIEGO Y APROVECHAMIENTO
HÍDRICO EN LA LOCALIDAD DE SAN MARTÍN, DISTRITO DE LA
ENCAÑADA, CAJAMARCA”**

Línea de investigación: Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y geotecnia.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

OSCAR ALBERTO VEGA MONTOYA

ASESOR:

DR. PUMARICRA PADILLA RAÚL VALENTÍN

JURADO:

Dr. ANDRÉS VALENCIA GUTIÉRREZ

Ms. TABORY MALPARTIDA GUSTAVO AUGUSTO

Ms. YBAR ARRIOLA GUSTAVO ADOLFO

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Mis Hermanos Hilda Y Alfonso, en quienes siempre he encontrado un respaldo incondicional, durante todo este proceso de mi carrera profesional.

A mis padres que desde el cielo me iluminaron para seguir adelante. Así como a mis queridos hijos.

Agradecimiento

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villareal, a quienes compartieron sus conocimientos por las y enseñanzas necesarias para ser un buen profesional, y en especial al Dr. Raúl Valentín Pumaricra Padilla, por su apoyo en el asesoramiento, revisión y aprobación de la presente investigación.

Agradezco a mis hermanos que de una u otra manera me apoyaron en la elaboración de la presente tesis, para ellos toda mi gratitud.

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. Introducción	11
1.1 Descripción y formulación del problema	12
1.1.1. Descripción problema.....	12
1.1.2. Formulación del problema.....	13
1.1.3. Problema Principal	13
1.1.4. Problema específico	13
1.2 Antecedentes	13
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación	18
1.5 Hipótesis.	19
1.5.1 Hipótesis general	19
1.5.2 Hipótesis específicos	19
II. Marco teórico.....	20
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	20

2.1.1	Definición de sistema de riego	20
2.1.2	Enfoques teóricos.....	27
III.	Método	31
3.1	Tipo de investigación.....	31
3.2	Ámbito temporal y espacial	31
3.3	Variables	32
3.3.1	Variables independientes	32
3.3.2	Variable dependiente	32
3.3.3	Indicadores.....	32
3.4	Población y muestra	32
3.4.1	Unidad de estudio.....	32
3.4.2	Población	33
3.4.3	Muestra	34
3.5	Instrumentos.....	36
3.5.1	Cálculos y procedimiento	36
3.5.2	Fase de Campo	36
IV.	Resultados.....	43
4.1	Análisis de la información	43
4.1.1	Análisis para la eficiencia de riego	43
4.1.2	Análisis de eficiencia del canal	44
4.1.3	Determinación de la eficiencia de riego	46
4.1.4	Aspectos técnicos	50
4.1.5	Aspectos económico	50
4.2	Planteamiento técnico.....	51
4.2.1	Requerimiento hídrico para riego.....	51

4.2.2	Cedula de cultivo.....	51
4.2.3	Evapotranspiración potencial (ETp).....	52
4.2.4	Coeficiente cultivo (Kc)	52
4.2.5	Precipitación efectiva (P. Efec.).....	53
4.2.6	Eficiencia de riego. ef.....	53
4.2.7	Tiempo de riego (N° horas riego)	54
4.2.8	Módulo de riego (MR).....	54
4.2.9	Área de cultivo - (Área Total).....	54
4.2.10	Disponibilidad hídrica para riego.....	57
4.2.11	Balance hídrico	57
4.2.12	Planteamiento agronómico	58
4.2.13	Componentes del sistema de riego por aspersión	62
4.2.14	Resultados esperados.....	63
V.	Discusión de resultados	66
VI.	Conclusiones.....	68
VII.	Recomendaciones.....	70
VIII.	Referencias.....	71
IX.	Anexos.....	74
	Anexo 1.....	75
	Panel fotográfico	75
	Anexo 2.....	77
	Croquis.....	77

Índice de tablas

Tabla 1: Superficie agrícola riego - Departamento Cajamarca.....	16
Tabla 2: Aforos y cálculo de caudal del canal de conducción	40
Tabla 3: Cálculo de la eficiencia de conducción canal.....	40
Tabla 4: Adaptación al terreno.....	47
Tabla 5: Diferencial de altura para distribución de agua.....	47
Tabla 6: Adaptación a las características del terreno	48
Tabla 7: Resumen de eficiencia de riego.....	49
Tabla 8: Eficiencia de riego por gravedad	49
Tabla 9: Eficiencia de riego por aspersión.....	49
Tabla 10: Cédula De Cultivo	51
Tabla 11: Evapotranspiración potencial	52
Tabla 12: Coeficiente de uso consuntivo para la cédula de cultivo (kc).	53
Tabla 13: Precipitación efectiva.....	53
Tabla 14: Demanda Hídrica para Riego por Gravedad	55
Tabla 15: Análisis de la Oferta – Demanda – riego por gravedad.....	55
Tabla 16. Demanda Hídrica para Riego por Aspersión.....	56
Tabla 17: Análisis de la Oferta – Demanda – riego por aspersión.....	56
Tabla 18: Balance demanda –oferta Riego por Gravedad	58
Tabla 19: Balance demanda –oferta Riego por Aspersión	58
Tabla 20: Resultados del cálculo de la eficiencia	64
Tabla 21: Resultados del cálculo de la demanda de agua.....	65

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de la provincia de Cajamarca y distrito de la Encañada.	33
Figura 2: Ubicación geográfica se la Localidad de San Martín.	34
Figura 3: Método del flotador	37
Figura 4: Cálculo del área.....	39
Figura 5: Datos de campo	39
Figura 6: Representación del canal de riego existente	45
Figura 7: Esquema de un sistema de riego por aspersión en ladera.....	63
Figura 8: Eficiencia de conducción	64
Figura 10: Progresiva 0+00 – Captación.	75
Figura 11: Progresiva 0+020 – Medición del caudal de entrada, en tramo	75
Figura 12: Progresiva 0+200 – medición del caudal de salida en tramo.....	76
Figura 13: Progresiva 0+150 – Línea conducción se verifica la filtración.....	76
Figura 14: Croquis de tramo de muestra.....	77

Resumen

Con la finalidad de determinar la eficiencia de conducción y la demanda hídrica del canal de riego en la Localidad de San Martín, Distrito de la Encañada, Cajamarca, la cual cuenta con una longitud de 2+620 km, se realizaron la medición de caudales en el tramo comprendido entre 0+020 al 020+200 km, el valor obtenido de la eficiencia de conducción del canal de riego sin revestir por gravedad es 69%, en comparación con la eficiencia de conducción de un canal entubado de riego por aspersión, la cual está entre los valores de 80% y 90%, lo que indica que es bajo la eficiencia con una línea de conducción entubado.

Con el sistema de riego por gravedad para poder irrigar 38.38 Ha. con una disponibilidad hídrica de 20 lt/seg, se requiere 32.53 lt/seg, en cambio con una infraestructura de riego por aspersión se requiere un caudal de 18.59 lt/seg, con la cual se haría un adecuado aprovechamiento hídrico con el mejoramiento de la infraestructura de riego en la Localidad San Martín.

Palabras claves: Eficiencia de conducción y requerimiento hídrico en la infraestructura de riego del canal “la Paccha”.

Abstract

With the purpose of determining the conduction efficiency and the hydric demand of the irrigation channel in San Martín, District of Encañada, Cajamarca, which has a length of 2+620 km, flow measurements were made in the stretch from 0+020 to 020+200km, the value obtained from the efficiency of conduction of the irrigation channel without coating by gravity is 69% compared to the conduction efficiency of a sprinkler piped canal, which is between 80% and 90%, indicating that it is low efficiency with a piped conduit line.

With the gravity irrigation system to irrigate 38.38 Ha. with a water availability of 20 litres/second, sec, requires 32.53 lt/seg, on the other hand with a sprinkler irrigation infrastructure requires a flow of 18.59 litres/second, which would make an adequate use of water with the improvement of irrigation infrastructure in the town of San Martín.

Keywords: Efficiency of conduction and water requirement in the irrigation infrastructure of the canal la Paccha.

I. Introducción

Una de las principales actividades económicas de la Región de Cajamarca, es la agricultura, según información del INEI (2016) esta actividad genera el 2,2% del producto bruto interno Nacional (PBI), mientras que a nivel de la Región esta actividad agropecuaria representa 12%, la minería el 25% y el resto de actividades y servicios el 63%.

Con respecto a la superficie bajo riego a nivel de la Región de Cajamarca se tiene 122, 44.85 Has, de las cuales de acuerdo al tipo de infraestructura de riego se tiene que el 57% es riego por gravedad, de los cuales el 83% es por canales sin revestir, y con riego por aspersión el 6%.

Esta investigación está referido a la instalación de una adecuada infraestructura de riego, en donde sea más eficiente el riego, desde la captación del recurso hídrico, almacenamiento, línea de conducción, línea de distribución, y que funcionen en su máxima eficiencia de riego, para un mejor aprovechamiento de la disponibilidad hídrica en la provincia de Cajamarca.

Por lo tanto, con la investigación podremos determinar la eficiencia de conducción de los sistemas de riego tanto de riego por gravedad como riego por aspersión y la demanda hídrica, la cual nos permitirá tomar decisiones para mejorar la infraestructura o sistema de riego por gravedad a un sistema de riego por aspersión y a la vez sea más sostenible en la Localidad de San Martín.

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción problema

En la Provincia de Cajamarca, se caracteriza por tener una infraestructura de riego en mal estado, en donde operan sistemas con canales de riego por gravedad si revestir en un 60% de la superficie bajo riego, siendo los problemas frecuentes la disminución de la cobertura de riego, por la filtración de agua en los canales de conducción riego principalmente.

Los canales de riego que se construyen en la provincia de Cajamarca, presentan una baja eficiencia de riego por el tipo de infraestructura que actualmente se tiene, principalmente en el canal de conducción, la cual conlleva a un limitado aprovechamiento hídrico.

En tiempos de estiajes y sumado a ello la deficiente infraestructura de riego en la provincia de Cajamarca, y por otro lado la baja eficiencia en el canal de conducción, la cual es típico en los sistemas de riego por gravedad, genera pérdidas de agua por el mal estado en los canales sin revestir, ocasionando baja productividad agrícola de la provincia,

Por lo que, identificado las limitaciones y deficiencias en el sistema de riego por gravedad, se requiere el mejoramiento de la infraestructura de riego y garantizar una mayor eficiencia de riego, es importante determinar y evaluar la

eficiencia de conducción del sistema de riego por gravedad y del sistema propuesto, con el fin de aprovechar la disponibilidad hídrica para riego.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.3. Problema Principal

El problema general identificado es: ¿Cómo incrementamos la eficiencia de riego y reducimos las pérdidas de agua por filtraciones, para mejorar el uso de la disponibilidad hídrica en los canales de riego, en la Provincia de Cajamarca?

1.1.4. Problema específico

- Como incrementamos la eficiencia de conducción del sistema de riego por gravedad.
- Como mejoramos el sistema de riego por gravedad para reducir las pérdidas de agua por filtraciones.

1.2 Antecedentes

El desarrollo de la agricultura en el Perú tiene una evidente correlación con los avances en el manejo del agua para riego. Los antiguos peruanos encararon seriamente el "problema del uso del agua para el riego" y esto, muy probablemente,

dio inicio a importantes cambios en la agricultura y la sociedad, algunos de los cuales aún hoy tienen vigencia ya que una parte de la infraestructura de riego existente tiene antecedentes prehispánicos. (Zegarra, 2002).

Como experiencia del PSI ha sido exitosa y ha servido de réplica para que otras instituciones públicas y privadas repitan en diversas zonas del país el concepto de mejoramiento de los cultivos desde la perspectiva de tres pilares básicos: Tecnificación del riego, Mejora de la Infraestructura hidráulica Y Capacitación a profesionales y agricultores. (Ing. Oviedo, 2018).

Los resultados del Censo Nacional Agropecuario 2012, muestran que la región actual de la sierra del departamento de Cajamarca posee el 66,4 % de la superficie agropecuaria total, es decir de cada 100 hectáreas 66 están ubicadas en la sierra, la región de la selva posee el 29,0% y la costa concentra el 4,6 % de la superficie agropecuaria. (Ledesma, 2012).

Además de la evolución de la superficie agropecuaria y los censos agropecuario (1994-2012), Del total de la superficie del territorio departamental (33 317,5 km²), según el Censo Agropecuario 2012, el 42,3 % está dedicado a la actividad agropecuaria que, comparado con el Censo de 1994, ha disminuido en 299 mil 075 hectáreas, que representa un decremento de 17,5 % en los últimos 18 años. (INEI, 2012).

El agua es manejada de manera ineficiente, debido a factores como la pérdida por filtración a nivel de canales, falta de mantenimiento de infraestructura de riego,

uso desmedido del recurso y a la pérdida de capacidad de reservorios por sedimentación. Según el Minagri (2010), el sector agrícola en la costa utiliza para riego el 80% del agua, con una eficiencia promedio de 35%. Por otro lado, al 2007, de los 55 mil kilómetros de canales evaluados, el 85% se encuentran sin revestimiento, ocasionando pérdidas por distribución del orden del 15% al 20%. A esto se puede añadir los problemas de drenaje y salinidad. Finalmente, se registran tarifas de agua que no cubren los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de riego, afectando el funcionamiento del riego regulado. (Libélula, 2011).

Según, (Goicochea, 2013). Trabajo de investigación titulado “Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca-Cajamarca”, concluyo que determinado la eficiencia de conducción de un pequeño canal de riego, de sección trapezoidal, revestido de concreto simple y diseñado para transportar 180 l/s. los resultados de la investigación muestra que el canal de riego Huayrapongo, tiene una eficiencia de conducción de 91.40 % calificada como una eficiencia de conducción alta; y el canal presenta grietas, roturas y juntas en mal estado.

Según, (Huamán, 2013). El trabajo de investigación titulado: “Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca - Cajamarca”, concluyo que la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, es de 91.40%, en un tramo de 1.00 Km. de canal, correspondiente a las progresivas 0+500 al 1 +500, siendo esta una eficiencia de conducción alta.

La superficie bajo riego a nivel del Departamento de Cajamarca y con cultivos agrícolas representa el 64,8 % de la superficie agrícola de riego (122 mil 447 hectáreas); mientras que el 35,2 % de la superficie se encuentran el barbecho y sin trabajar. (Vargas, 2012).

El riego por gravedad es utilizado en 70 mil 882 hectáreas, significando el 89,3 % del total, el 10,0 % utiliza riego por aspersión y el 0,7 % utiliza riego por goteo y exudación. (Vargas, 2012).

Tabla 1: Superficie agrícola riego - Departamento Cajamarca

Descripción	Superficie Agrícola Bajo Riego	Gravedad	Aspersión	Otros Sistemas de riego	Superficie agrícola en cercano
Superficie	122, 446	69,426	6,721	3,233.	400,218.36

Fuente: (Vargas, 2012) – Censo Agropecuario-2012.

El departamento de Cajamarca, según información del INEI (2018), aporta con 2,3 por ciento al Valor Agregado Bruto Nacional (VAB); sin embargo, la importancia relativa del departamento en el país es mayor en el caso de algunos sectores como agricultura, ganadería, caza y silvicultura (4,9 por ciento), administración pública y defensa (3,6 por ciento), extracción de petróleo, gas y minerales (3,3 por ciento), así como construcción. (BCRP, 2018).

La Hidrología en el departamento de Cajamarca cuenta con 12 unidades hidrográficas o cuencas, de las cuales 7 corresponden a la Región Hidrográfica del Pacífico y los 5 restantes a la del Amazonas; por lo que podría decirse que su

territorio actúa como una especie de ‘gran divisoria de aguas’. Sus aguas dan origen a cuencas hidrográficas que son afluentes de la vertiente del Pacífico. (GORE-Caj., 2014).

En relación al relieve del departamento, el 47.1% de su territorio presenta una superficie de pendiente moderadamente empinada (con 25% – 50% de rango de pendiente), el 23.6% de la superficie es de pendiente empinada (con 50% - 75% de rango de pendiente) y el 3.7% de la superficie es de pendiente fuertemente empinada, con una pendiente mayor al 75%. (GORECaj. 2014).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

“Incrementar la eficiencia de riego y reducir las pérdidas de agua por filtraciones, para mejorar el uso de la disponibilidad hídrica en los canales de riego, en la Provincia de Cajamarca”.

1.3.2 Objetivos específicos

- Mejorar la eficiencia de riego en la línea de conducción del sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca.
- Reducir las pérdidas de agua por filtraciones en el sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca. Utilizando un nuevo sistema de riego.

1.4 Justificación

Vivimos en un mundo globalizado, en constante desarrollo y evolución, y en donde la tecnología no es ajena, por el contrario, está a la vanguardia en innovación; buscar estrategias que nos permitan articular la tecnología con los diferentes campos de acción; para nuestro caso entonces es de vital importancia planear una adecuada infraestructura para riego.

Una adecuada infraestructura para riego tiene un impacto positivo en el desarrollo de la agricultura, que busca reducir la brecha de infraestructura hídricos, y es pieza clave para promover el uso eficiente del agua para riego y tener mayor disponibilidad del recurso hídrico.

Con el estudio se plantea solucionar de manera adecuada e integral el problema identificado mediante la instalación de un nuevo sistema de riego e incrementar la eficiencia y las hectáreas a irrigar al 100%.

Según el manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego del Minagri, indica que, La eficiencia de un sistema de riego (E_{fr}) es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario. Que finalmente se evaluara del caudal captado en la bocatoma cuánta agua de esta es utilizada para el riego del cultivo y para ello es importante

determinar la eficiencia de riego a fin de determinar la demanda de agua que se requiere en un proyecto de riego siendo esta un factor importante en el cálculo de la demanda hídrica de todo proyecto de riego. (Nuñez, 2015).

La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema. (Nuñez, Mamual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego., 2015).

1.5 Hipótesis.

1.5.1 Hipótesis general

“Si mejoramos la infraestructura de riego de la línea de conducción, entonces mejora la eficiencia de riego y se incrementaría el aprovechamiento hídrico, en la provincia de Cajamarca”.

1.5.2 Hipótesis específicos

- Si mejoramos la infraestructura de riego de la línea de conducción, Entonces se incrementaría la eficiencia de riego.
- Si mejoramos la infraestructura de riego de la línea de conducción, Entonces se incrementaría el aprovechamiento hídrico.

II. Marco teórico

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Definición de sistema de riego

Sistema de riego. - El sistema tiene tres componentes: La infraestructura, la organización para su operación y mantenimiento, y el sistema de producción agropecuario bajo riego. Esta guía trata los tres componentes en conjunto para que los proyectos sean sistemas de riego coherentes, es decir, cuyas partes forman un conjunto funcional. (Anten, 2000).

Riego por gravedad.- La energía que distribuye el agua por el campo es la derivada de su propio peso (diferencia de cotas), a circular libremente por el terreno a favor de pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante surcos, melgas o pozas. (Ascencio, 2012).

Riego por aspersión. - El agua es conducida a presión al llegar a los aspersores, que realizan un riego sub arbóreo es produce gotas que mojan el terreno de forma similar a la lluvia. (Ascencio, <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/023-c-mad.pdf>, 2012).

Captación de Manantial, - Son las estructuras que se construyen en los manantiales donde se produce el afloramiento natural de agua. Como la

captación depende del tipo de fuente y de la calidad y cantidad de agua, el diseño de cada estructura tendrá características típicas. (Sevilla, 2014).

Desarenador. - Es una estructura hidráulica, que permite retener y evacuar los sedimentos como arenas y gravas. El Desarenador es un tanque que generalmente tiene tres cámaras. (Sevilla, Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en laderas, 2014)

Línea de conducción. - Es el tramo de canal entre la captación y el primer tanque de repartición. Puede ser ejecutado como canal abierto (de tierra o concreto) o entubado. La última opción es generalmente preferible para evitar que el sistema trae sedimento a los sectores de riego. (Anten, 2000).

Red de distribución. - Son los canales (abiertos o entubados) que distribuyen el caudal de sistema a los diferentes sectores de riego. Podemos utilizar en sistemas entubadas obras adicionales como sifones, válvulas de limpia de y de desfogue, cámaras rompe presión, etc. La capacidad de los canales o tuberías disminuye conforme se divide el caudal del sistema a los sectores. (Anten, 2000).

Reservorio /cámara de carga. - El reservorio / cámara de carga cumple la doble función de cámara de carga, donde se produce una presión constante para el sistema de riego presurizado del sector, y proporcionar el caudal "pedido" por los aspersores que se tiene funcionando en el sector. (Anten, 2000).

Los hidrantes. - son los puntos de conexión de una línea de riego móvil en las parcelas a regar. Son equipados con una válvula y un acople rápido para una manguera. Desde un hidrante se pueden servir varias partes de la parcela, si son ubicados en lugares estratégicos. Los hidrantes son conectados entre ellos y con la cámara de carga con tuberías enterradas. (Anten, 2000).

Línea de riego. - La línea de riego fijo distribuye el agua por todo el sector de riego, entregando el caudal de riego mediante los hidrantes a las líneas de riego móviles en forma presurizada. Consiste de tuberías de PVC enterradas cuyos diámetros son calculados de tal manera que en cada hidrante existe la presión suficiente para los aspersores. En algunos casos se tendrán que instalar cámaras rompe presión. (Anten, 2000).

Línea de riego móvil.- La línea de riego móvil consiste de una manguera con aspersores montados sobre ella. Es conectada a los hidrantes para regar, en forma rotativa, todo el sector de riego. Si el sector de riego consiste de varias propiedades la línea de riego móvil es compartida entre los usuarios del sector. (Anten, 2000).

ANA. - La Autoridad Nacional del Agua (ANA), del Ministerio de Agricultura y Riego, de acuerdo a la Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, es el ente rector y máxima autoridad técnico normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. (Minagri, 2017).

MINAGRI. - El Ministerio de Agricultura y Riego es un organismo del Poder Ejecutivo, ente rector en materia agraria, con personería jurídica de derecho público, y constituye un Pliego Presupuestal. (Minagri, www.minagri.gob.pe, 2012).

PSI.- Programa Subsector al de Irrigación.- Organismo descentralizado del sector agricultura, tiene por objetivo principal promover el desarrollo sostenible de los sistemas de riego en la costa y sierra, el fortalecimiento de las organizaciones de usuarios, el desarrollo de capacidades de gestión, así como la difusión del uso de tecnologías modernas de riego. (Minagri, www.minagri.gob.pe, 2012).

Eficiencia del Sistema de Riego (Efr). - La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario. (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego , 2015).

La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema tal como se indica: $E_{fr} = E_{fc}$

$\times E_{fd} \times E_{fa}$. (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego, 2015).

Eficiencia de Conducción (E_{fc}). - La eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua en el canal principal desde la Bocatoma hasta el punto final del canal principal. (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego, 2015).

Eficiencia de Distribución (E_{fd}). - Se obtiene de todos los canales de distribución de 1er, 2do, 3er, etc., orden, que sirven para distribuir el agua hacia las parcelas o chacras de los usuarios. Mide la pérdida que se produce entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios de una zona de riego. (Nuñez, Manual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego, 2015).

Eficiencia de Aplicación (E_{fa}). - La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego, 2015).

Superficie Agrícola Bajo Riego. - Es aquella en la que los cultivos son aprovechados de agua mediante obras realizadas por el hombre, que las conduce desde las fuentes de agua hasta las áreas a regar con infraestructuras de riego. (INEI, 2012).

Superficie Agrícola Bajo Riego. - Es aquella en la que los cultivos son aprovechados de agua directa y exclusivamente de las precipitaciones pluvial (lluvias). (Ledesma, 2012).

Caudal. - Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida. (Lux M., 2010- Medidores de Flujos en Canales Abiertos). El caudal se expresa en volumen por tiempo. De esta manera, se puede decir que el caudal de entrada es de tantos litros por segundo (1/s) o de tantos metros cúbicos por día (m³/día). (INEI, 2012).

HYPERLINK "<https://www.mef.gob.pe/es/glosario-sp-23515/producto>**"**

Producto Bruto Interno (PBI). - Es el valor total de los bienes y servicios producidos en un país durante un período determinado. Su valorización puede ser en términos corrientes o constantes. El PBI mide el nivel de actividad económica y se define como el valor de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un período determinado. Puede ser medido en valores corrientes o valores constantes, a precios de un año base. (MEF, 2015).

Aforo de caudales. - Aforar es medir un caudal. En Hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (unos pocos litros /Seg.) hasta grandes ríos con caudales de centenares o miles de m³/Seg. Distinguimos dos tipos de aforos: ... Medimos el nivel del agua en el cauce, y a

partir del nivel estimamos el caudal. (Nuñez, Mamual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego., 2015).

Método del flotador. - Este método es el más sencillo, pero sólo permite estimar en forma aproximada el caudal. Se debe estimar la velocidad del agua y el área del canal. El Cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática: ($Q = \text{Área} * \text{Velocidad} * Fc$) en donde la Vel. = Long. /Tiempo). (Núñez, Manual del Cálculo de eficiencia para Sistema de Riego, 2015).

Caudal en hidráulica. - En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Las fuentes hídricas son todas las corrientes de agua ya sea subterránea o sobre la superficie; de las cuales nosotros los seres humanos podemos aprovecharlas ya sea para la generación de energía o el uso personal. Las fuentes hídricas pueden ser: los ríos, manantiales, pozos, ríos subterráneos etc. (Nuñez, Mamual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego., 2015).

Infiltración. - Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire

inicialmente presentes en su interior. (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego , 2015).

2.1.2 Enfoques teóricos

Uno de los problemas de la agricultura bajo riego en el Perú es el manejo deficiente del agua de riego en la actividad agrícola por la carencia de tecnología moderna de irrigación en los predios, cuyo corolario es la baja eficiencia a nivel parcelario, agravándose con las pérdidas por conducción y distribución en los sistemas de riego, además de una inadecuada planificación. (Zúñiga, 2009).

Resolución Ministerial N° 0507-2015-MINAGRI .- Aprueban Lineamientos de Política y Estrategia Nacional de Riego 2015-2025, Como resultado, se ha construido la Política Nacional Agraria, aprobada por Decreto Supremo N° 002-2016-MINAGRI, la cual consta de doce (12) Ejes de Política que generan un marco orientador de mediano y largo plazo que favorecerán el desarrollo sostenible de la agricultura, siendo uno de los principales ejes: Eje de Política 4: Infraestructura y tecnificación del riego, y tiene como objetivo Incrementar la eficiencia y la dotación de infraestructura de riego, así como la tecnificación del riego parcelario y la inversión en infraestructura de riego a nivel nacional, priorizando la pequeña y mediana agricultura. (Minagri., 2016).

Además, como respecto a la infraestructura de riego, sin embargo, la eficiencia del agua de riego apenas está en torno del 35%. Es decir, existe un

alto desperdicio de agua, debido, entre varias razones, a su deficiente aplicación a los predios y el mal estado de conservación de las redes de conducción y distribución. Más aún, sólo el 12% de los cultivos se riegan bajo sistemas de riego²⁰, el resto utiliza el riego por gravedad. (Minagri., 2016).

Adicionalmente, se estima que el 85% de la longitud de canales (46 988 Km) se encuentran sin revestir, lo que ocasiona pérdidas en la distribución del agua del orden del 15% al 20%, e impide cumplir con la demanda de agua de cédula de cultivo, conocer con certeza los caudales y volúmenes de agua que se distribuyen a los usuarios, generando conflictos por la insatisfacción por el servicio de agua para riego. (Minagri, 2016).

El desarrollo de la Región Cajamarca se debe plantear sobre la base de un uso ordenado y sostenido de sus recursos naturales y del espacio geográfico en correspondencia con el potencial y la fragilidad de sus ecosistemas. La Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) es un instrumento para posibilitar la conservación del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales a través del aprovechamiento económico de los ecosistemas respecto a su potencial y restricciones ambientales, como base para efectuar el Ordenamiento Territorial. (ZEE-OT, 2010).

Según el Banco Mundial señala en su informe sobre riego que en el Perú se debe modernizar el riego en pro de una agricultura competitiva y sustentable, La inversión público-privada puede ayudar a reducir el déficit de infraestructura indicando además que:

- Hay un gran potencial de modernización de la infraestructura de riego, tanto a nivel parcelario como en los sistemas de captación y distribución que necesitan una mayor planificación de las inversiones públicas y más fomento de la privada. (Informe I del Banco Mundial, set-2013, Pg. 18).

El Futuro del Riego en el Perú, Desafíos y Recomendaciones Volumen II:
Informe de Síntesis indica lo siguiente:

- Los sistemas de riego en la Sierra, se pueden distinguir globalmente dos tipos de sistemas de riego en cuanto a su configuración territorial. - Los sistemas de riego ubicados en los valles interandinos, que en muchos casos cuentan con infraestructura hidráulica más conexa o interdependiente en un determinado espacio territorial. Los valles interandinos son zonas privilegiadas de la Sierra con pendientes relativamente suaves, ubicadas entre 2000 y 3500 metros de altitud y donde a menudo se ubican centros poblados relativamente importantes (Cajamarca, Huancayo, etc.). Los suelos tienden a ser fértiles. (Mundial, 2013).
- Los pequeños sistemas de riego dispersos en las zonas de laderas andinas, con pendientes y altitudes mayores a los ubicados en los valles. Éstos combinan prácticas agrícolas en secano con agricultura bajo riego, aprovechando las aguas que fluyen desde manantiales en ladera, flujos de quebrada y pequeños riachuelos. Muchas de estas fuentes mantienen un cierto caudal durante la época de estiaje. Se trata normalmente de agricultura de subsistencia con bajos

rendimientos y desagregada en terrazas a diferentes alturas con zonas agroecológicas diferentes. (Mundial, 2013).

El Futuro del Riego en el Perú, Desafíos y Recomendaciones Volumen I: Informe de Síntesis indica lo siguiente: La mayor parte de los sistemas de riego son alimentados por canales de conducción; muy pocas áreas agrícolas se riegan desde tomas directas en el río. La infraestructura de muchos de los sistemas antiguos es bastante básica. En cambio, los sistemas de riego construidos por los Proyectos Especiales en las últimas 3-4 décadas fueron diseñados y construidos teniendo en cuenta la normativa actualizada de la ingeniería civil, a pesar de esto, la mayoría no cuenta con la infraestructura de control necesaria para una operación moderna de los sistemas. (Mundial, 2013).

El manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego del Minagri, a través de la Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, ha establecido los porcentajes de variación de las eficiencias por tipo de sistema a implantar, siendo las siguientes: eficiencia de riego por gravedad es 40%, eficiencia de riego por aspersión es 75%. Por lo que tecnificando el riego es más eficiente el riego. (Núñez, Manual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego., 2015).

III. Método

3.1 Tipo de investigación

El tipo de estudio para la presente investigación, según las variables identificadas como son variables independientes y variables dependientes, se ha determinado que Es una investigación es de tipo: Descriptiva, cuantitativo.

Según la naturaleza y análisis de la información, la presente investigación será de tipo descriptivo, porque consiste, fundamentalmente, en caracterizar una situación concreta de un objeto observando y describiendo sin influir en ella. Y cuantitativo ya que se obtendrá valores numéricos para la eficiencia de conducción del canal en estudio. Fundamentado en las mediciones directas de campo y utilizando el equipo apropiado, con la finalidad de reunir y examinar toda la información disponible para los fines del presente estudio.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La siguiente investigación comprende a los diversos canales de conducción de agua de los sistemas de riego a gravedad, y se enmarca dentro de la red de canales sin revestir de la Provincia de Cajamarca.

3.3 Variables

3.3.1 Variables independientes

- Caudal de ingreso en el tramo en estudio.
- Caudal de salida en el tramo en estudio.

3.3.2 Variable dependiente

- Eficiencia de Conducción del canal de riego: Se analiza las pérdidas de agua en el tramo en estudio del canal..
- Disponibilidad del recurso hídrico.

3.3.3 Indicadores

- Eficiencia de conducción en (%).
- Requerimiento hídrico (l/Seg.).

3.4 Población y muestra

3.4.1 Unidad de estudio

La unidad de estudio de esta investigación es el canal de riego denominado La Paccha, en la Localidad de San Martín, distrito de la Encañada, Cajamarca, en el cual cada se hará los cálculos que corresponden.

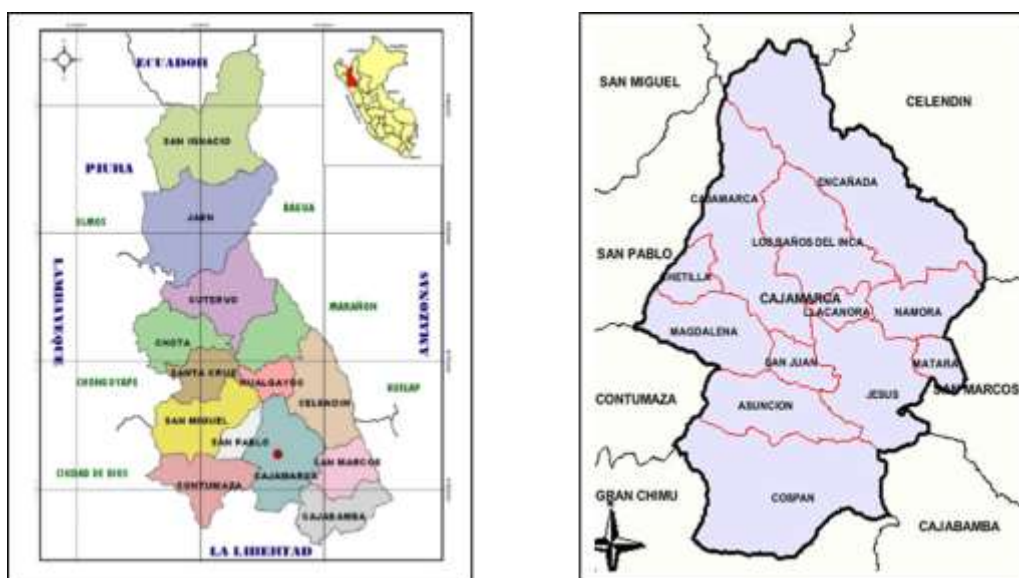
3.4.2 Población

El canal de riego denominado La Paccha, en la Localidad de San Martín, distrito de la Encañada, Cajamarca, tiene una Altitud promedio entre de 3098 msnm a 3500 msnm y cuenta con las siguientes coordenadas UTM promedio: Norte: 9212921 y Este: 0803886.

Ubicación Política: La Localidad de San Martín pertenece al Centro Poblado de Rosario de Polloc, Distrito de la Encañada, Departamento de Cajamarca.

Ubicación Hidrográfica: Microcuenca La microcuenca la Encañada se ubica en la margen izquierda y oriental de la cuenca del río Cajamarquino y está incluida en el territorio de la subcuenca del río Namora.

Figura 1: Ubicación de la provincia de Cajamarca y distrito de la Encañada.



Fuente: Inei-2018.

Figura 2: Ubicación geográfica de la Localidad de San Martín.



Fuente: Inei-2018.

Las vías de acceso y comunicación a la zona de estudio es: desde la ciudad de Cajamarca hacia C.P. de Rosario de Polloc, con una vía asfaltada de 30.20 Km. un tiempo de 35 minutos, y desde el C.P. de Rosario de Polloc hacia la Localidad de San Martín, es una vía sin afirmar se hace un tiempo de 25 minutos.

3.4.3 Muestra

En la presente tesis se tomará como muestra en la infraestructura del sistema de riego por gravedad, realizado en el canal denominado: “La Paccha”, Localidad de San Martín, Distrito de la Encañada, la cual tiene una longitud de 2+620 Km, y es de sección irregular y sin revestir, la cual actualmente riega aproximadamente a 38.38 has. (100% bajo riego); bajo la modalidad de turnos, durante el periodo de estiaje o secado, con un caudal promedio de 20.00 Lt/s

captadas de los manantiales denominados: la Paccha – (Resolución Administrativa N° 0127-2012-ANA-AAA-VI MARAÑON-2012). Para desarrollar la potencialidad productiva de pastos naturales, beneficiando a 115 usuarios.

Relieve y suelo. - La presencia de la cordillera occidental de los andes, origina el relieve variado de la topografía provincial, el ramal interno atraviesa los distritos de Encañada.

Los suelos son por lo general de alta profundidad, de textura variable entre media y fina, de Ph sobre 7 (Neutro de la cantidad de ácidos o alcalino en el tipo de suelo) y dependiendo mucho del material litológico o del estudio a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. En la zona son dominante los suelos arcillosos, franco-arenosos.

Clima. - La zona presenta un cuadro climático muy variado y complejo en razón de su ubicación dentro de un gran rango de altitudes. El clima es templado y seco con regulares precipitaciones pluviales en los meses de octubre a marzo, con una temperatura media anual de 19°C.

La temperatura promedio.- a 3020 m.s.n.m. es de 10.7°C con extremos de 15.9 y 5.6 °C y la precipitación media anual es alrededor de 554 mm (época lluviosa octubre a abril).

3.5 Instrumentos

3.5.1 Cálculos y procedimiento

Los cálculos de los caudales han sido realizados por el método el flotador, mediante diversos procesos para determinar la eficiencia de conducción del canal y la demanda hídrica. Para la recolección de información y cálculos se realizaron los siguientes procedimientos:

3.5.2 Fase de Campo

Se procedió a realizar trabajos preliminares de campo, para el reconocimiento del canal de conducción, desde la captación hasta el último tramo del canal de riego por gravedad, luego en el tramo de muestra se realizó la recopilación de información de la medición de caudales de entradas y caudal de salida in situ.

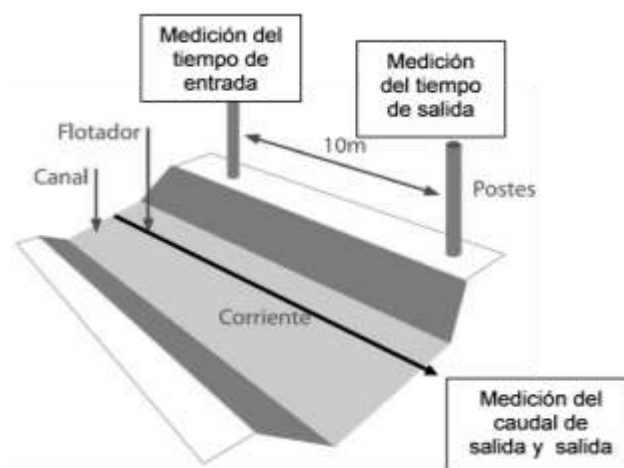
Se realizó a través de toma directa de datos de los diferentes caudales en el tramo, realizando lo siguiente pasos:

- Primero se realizó el recorrido en todo el canal para observar y ubicar el tramo de muestra, para lo cual se consideró la mejor accesibilidad a la zona, un tramo que presente las condiciones referidas en el planteamiento del problema.

Luego se seleccionó un tramo del canal de conducción de sección más uniforme, desde el punto de inicio del tramo que viene hacer el caudal de ingreso y del punto final del tramo viene hacer el caudal de salida.

- Se ubican dos puntos en tramo de muestra, a una distancia de 10 metros y con la ayuda de un cronómetro, medimos el tiempo que transcurre en recorrer la distancia en el tramo de muestra (caudal de ingreso) y (caudal de salida).
- Luego con los caudales obtenidos se calculó la eficiencia de conducción del día en que se realizó la toma de datos. Este proceso se repitió durante el lapso que duro la toma de datos.
- Una vez determinada las eficiencias de conducción se sacó un promedio para finalmente hallar la eficiencia de conducción del canal tal como se muestran en los cálculos adjuntos.

Figura 3: Método del flotador



Fuente: Inei-2018.

El Cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = F_c \times A \times (L/T)$$

Donde:

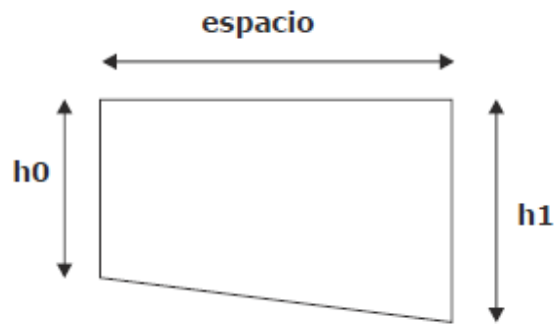
- Q = es el caudal, en m³/s.
- L = es la longitud entre el Pto. A y B en metros.
- A = es el área, en m².
- T = es el tiempo promedio en segundos.
- F_c = es el factor de corrección.

Donde F_c es un factor de corrección relacionado con la velocidad. El valor de F_c se debe seleccionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, para este caso es:

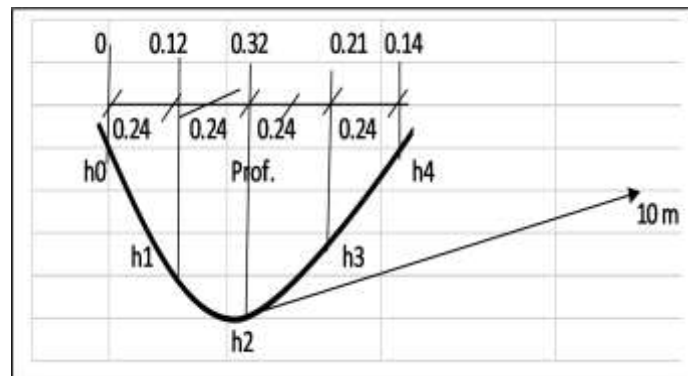
- Tipo de cauce : Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm.
- Factor de corrección F_c: 0.7.

El Cálculo del área en este caso de tendrá que calcular las áreas el mismo que guarda relación con los espacios e_i. El área se calcula como un trapecio recto.

$$\text{Área } i = (h_0 + h_1) / 2 * e$$

Figura 4: Cálculo del área

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5: Datos de campo

Fuente: Elaboración Propia.

El Cálculo de la Velocidad ($V = L/T$) en este caso de tendrá que calcular T_1 , t_2 , T_3 , T_4 y T_5 , y se tiene la longitud que se ha considerado 10 m.

Reemplazando los valores calculados determinamos para calcular la eficiencia de conducción del canal de riego por gravedad, se tiene:

$$E_{fc} = Q_s / Q_e$$

Q_s : Caudal de Salida al canal de conducción.

Q_e : Caudal de entrada al canal de conducción.

Tabla 2: Aforos y cálculo de caudal del canal de conducción

Nro	Espacio (m)	Profundidad (m)	Área= (h°+h1) / 2* e (m2)	Fc	t (seg.)	v = l / t (m/Seg)	Q = a * V * Fc (l/Seg)
1	0.24	0.00		0.7	0.24		
2	0.24	0.12	0.0144	0.7	0.24		
3	0.24	0.32	0.0528	0.7	0.24		
4	0.24	0.21	0.0636	0.7	0.24		
5	0.24	0.14	0.0420	0.7	0.24		
Total:			0.173	0.7	87.40	0.11	13.8
L=10m							

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3: Cálculo de la eficiencia de conducción canal

Progresiva Tramo – Canal	Captación Caudal entrada (lt/seg)	Canal de conducción Caudal salida (lts./seg)	Perdidas en el canal de conducción (lt/Seg)	Eficiencia (Ef)	Características canal conducción	
					Tipo de sección	Sin revestir / revestido
0+0.20 al 0.20+200	20.00	13.84	6.16	0.69	Irregular	S/R

Fuente: Elaboración Propia.

En el cuadro N° 3, se puede observar la eficiencia de conducción 69% del tramo del canal del sistema de riego por gravedad, analizado es baja ya que se encuentra por debajo de las eficiencias consideradas. La variación de la eficiencia de conducción en canales sin revestimiento, puede ser de un 90% en canales en suelos impermeables (no mayores a 20 Km), hasta un 20% en suelos muy permeables.

Un aspecto notorio, en canales en tierra, es que cuando conducen, sobre todo en época de lluvias agua con finos, sobre todo cuando estos son arcillosos, el canal con el tiempo se hace menos permeable, pero esto es limitado, y no debe confiarse demasiado en este aspecto como fuente de impermeabilización.

Otro aspecto, son las bajas eficiencias del sistema de riego por gravedad, sobre todo en canales sin revestir, en donde se ocasionan pérdidas de agua por filtraciones, generando una baja eficiencia en todo el sistema de riego.

Las pérdidas en el tramo en estudio donde existe mayor cantidad de desperfectos del canal sin revestir, ello permite ver el valor una pérdida de 4.16 l/seg. Hace que las pérdidas en el tramo en estudio sean muchas y den como resultado la eficiencia de conducción baja en esta investigación.

Equipos y Materiales de Campo

Se utilizó lo siguiente:

- Estación Total: con este equipo se pudo realizar el trazo y ubicación de los puntos de la línea de conducción.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global): con este instrumento se pudo geo-referenciar la ubicación de los canales del caserío.
- Cámara fotográfica, Wincha, cronometro, libreta de notas.
- Formatos de recopilación de información.

Análisis de Datos

El procesamiento de datos se realizó posterior a la información de campo, mediante tablas, cuadros, utilizando hojas de cálculo en el programa Excel, en base a toda la información tomadas en campo; para luego aplicarlas

las fórmulas y calcular la eficiencia de conducción del canal de riego y la demanda hídrica para ambos sistemas de riego evaluadas en la presente investigación.

Los principales parámetros de importancia en la investigación son: la eficiencia de conducción y la demanda hídrica para irrigar. Siendo posible la comprobación de la hipótesis planteada, para la cual se dan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

IV. Resultados

4.1 Análisis de la información

En el Valle de la encañada - Cajamarca, la no utilización de nuevas tecnologías para riego es uno de los problemas en la eficiencia de riego, por lo que actualmente con el sistema de riego por gravedad que opera de manera deficiente, implica mayores pérdidas de agua por filtraciones, generando un riego parcelario muy deficiente.

De lo indicado en el estudio de investigación, se ha hecho un análisis comparativo de los sistemas de riego por gravedad y el sistema de riego por aspersión, en donde se ha determinado que el indicador de eficiencia de riego por gravedad es muy bajo en comparación con el nuevo sistema en estudio.

4.1.1 Análisis para la eficiencia de riego

Evaluación técnica para el mejoramiento de eficiencia el sistema de riego.- La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún riego del productor agrario. Que finalmente se evaluara del caudal captado en la bocatoma cuánta agua de esta es utilizada para el riego y

para ello es importante determinar la eficiencia de riego, a fin de determinar la demanda de agua que se requiere en un proyecto de riego siendo esta un factor importante en el cálculo de la demanda hídrica de todo proyecto de riego. La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema. (MINAGRI y Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego – DGIAR – 2015)-

La eficiencia en una infraestructura de riego tiene mucho que ver con las pérdidas de agua. Si la pérdida de agua es mayor se requiere a una mayor cantidad de agua para obtener el mismo resultado. Esto hace que se desperdicie agua. Hay sistemas de riego más eficientes que otros por la forma en que conducen, distribuyen y aplican el agua, como es el sistema de riego por aspersión. (MINAGRI y Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego – DGIAR – 2015)-

La evaluación de la eficiencia del canal y de las pérdidas por conducción: Se verifico en los diferentes tramos del canal.

4.1.2 Análisis de eficiencia del canal

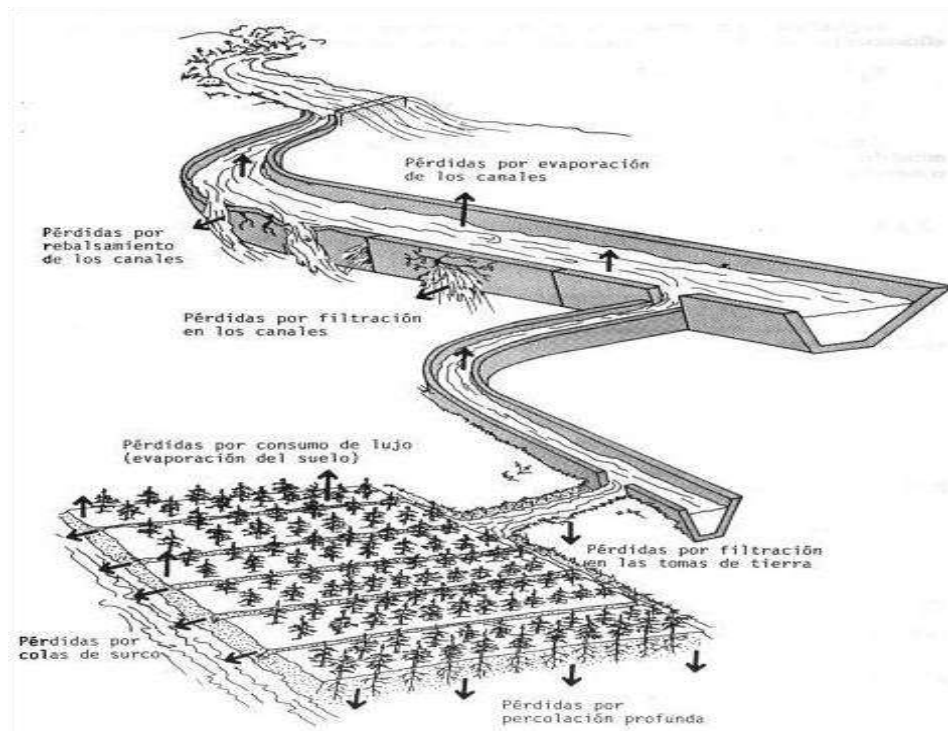
Las eficiencias de riego por gravedad en la Localidad de San Martin, son bajas, debido a pérdidas de agua por infiltración profunda o escurrimiento, por lo que es determinante la estimación de los índices de desempeño del uso

del agua con la finalidad de diseñar las mejores estrategias para el manejo del recurso agua.

Para el análisis de la eficiencia de riego del canal (conducción, distribución y aplicación), se ha tomado como referencia la información la cual se detalla en (Cuadernillo de cálculo de eficiencia para sistemas de riego, (DGIAR, 2015).

En base a la investigación y verificación de estudios realizado por la DGIAR, se determinó la eficiencia de conducción del sistema riego a gravedad, es una eficiencia promedio, la cual bajo para el buen aprovechamiento del agua para riego en la localidad de San Martin.

Figura 6: Representación del canal de riego existente



Fuente: (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego , 2015)

Del análisis de la eficiencia de conducción, se determina que la mejor forma más asegura de cubrir la demanda de agua para riego es incrementar la eficiencia de riego, planteando mejorar la infraestructura del sistema de riego actual, a la vez se incremente las hectáreas a regar.

Por lo que el mejoramiento de la infraestructura de riego, estará en función al tipo de sistema de riego a plantearse, y será de acuerdo a los criterios técnicos y determinación su máxima eficiencia de riego para lograr y buen funcionamiento.

4.1.3 Determinación de la eficiencia de riego

En la presente investigación se ha puesto mayor énfasis en la determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego, ya que este tiene relación directa con el tipo de sistema de riego, por lo que los factores determinantes para que un sistema de riego sea adecuado, es por una mayor eficiencia en la conducción, y evitando las pérdidas de agua por filtraciones.

Para determinar el incremento de la eficiencia de riego en la línea de conducción, se ha realizado el análisis comparativo entre los sistemas de riego en estudio.

Por lo que según el documento de la FAO- (III. Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado. Se puede ayudar

a la toma de decisión acerca de qué tipo de sistema implementar en un determinado proyecto. (FAO.Org., 2011).

Tabla 4: Adaptación al terreno

Sistema de riego	Descripción
Gravedad	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos. En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente el agua son muy grandes y los riesgos de erosión son elevados.
Aspersión	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos. En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente el agua son muy grandes, y los riesgos de erosión son elevados.

Fuente: (FAO.Org., 2011).

Tabla 5: Diferencial de altura para distribución de agua

Sistema de riego	Descripción
Gravedad	Casi no necesita altura, solamente la suficiente para que el agua fluya de la fuente hasta la parte más elevada del terreno y de ésta a toda la superficie.
Aspersión	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos. En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente se requieren bastante altura para funcionar bien por gravedad.

Fuente: (FAO.Org., 2011).

Tabla 6: Adaptación a las características del terreno

Sistema de riego	Descripción
Gravedad	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos, normalmente aluviones a las orillas de ríos y quebradas (vegas). En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente el agua son muy grandes. Además, los riesgos de erosión son elevados.
Aspersión	Se adapta mejor a terrenos planos o semi planos. A medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas. Además, a medida que aumenta la pendiente, la distribución del agua es cada vez más desigual, formando un círculo de menor rayo del lado superior del aspersor, donde se aplica más agua y con más presión. En áreas con pendiente se recomienda utilizar aspersores que producen gotas pequeñas y que requieren menos carga o presión.

Fuente: (FAO.Org., 2011).

Del análisis se determina que para incrementar la eficiencia de riego (Ef. Riego) se requiere plantear un nuevo sistema de riego por aspersión en donde se tiene una eficiencia de riego promedio de 0.70 (ver cuadro N° 7). En donde el factor de eficiencia del sistema de riego por aspersión, indica cuan eficientemente se está aprovechando el agua.

Los valores varían entre las diferentes modalidades de riego. En donde:
 No tiene unidades, Ef. Riego = Ef. Riego Conducción x Ef. Riego Distribución
 x Ef. Riego Aplicación y los valores promedio utilizados son:

Tabla 7: Resumen de eficiencia de riego

Método de riego	Eficiencia (ef.)
Gravedad (Actual)	0.40
Aspersión (Propuesta)	0.70

Fuente: (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego , 2015)

Analizando el incremento de la eficiencia de riego en los escenarios para el presente estudio en la situación actual y propuesta se tiene lo siguientes:

Tabla 8: Eficiencia de riego por gravedad

Sistema de riego	Long. de canal total (km)	Eficiencia de riego	Estado del canal
Gravedad	2.620	40%	- Sin revestir y en mal estado. - Secciones: irregular. - Presencia de pérdidas de agua. - Baja eficiencia de riego. - Limitadas hectáreas para riego.

Tabla 9: Eficiencia de riego por aspersión

Sistema de riego	Long. de canal total (km)	Eficiencia de riego	Estado del canal
Aspersión	2.620	70%	- Líneas del sistema entubados. - Mejor uso del agua para riego. - Incremento eficiencia de riego. - Incremento de hectáreas para riego.

Por todo lo analizado se concluye que la eficiencia más adecuado para el tipo de cultivo y topografía de la zona en estudio es la que está sustentado en el presente estudio, para el mejor uso de agua para riego, incremento de hectáreas a regar y por el tipo de sistema de riego se elige el sistema de riego por aspersión en donde se tiene como indicar de eficiencia de riego a: 0.70%.

En tal sentido para el presente estudio de investigación se desarrollará el sistema de riego por aspersión.

4.1.4 Aspectos técnicos

Los criterios técnicos para la determinación de la eficiencia de riego son de manera integral, para la cual se ha considerado el tipo de infraestructura de riego, topografía, cedula de cultivo, capacitación para la OYM del sistema, y en base a la oferta, y demanda de agua para riego.

4.1.5 Aspectos económico

El aspecto económico está dado en función al sistema de riego por aspersión y al incremento de la eficiencia de riego, la cual es mucho más rentable y se dará mejor uso al recurso hídrico en la zona. Económicamente se tendrá mayor beneficio cualitativo y cualitativo en comparación al riego por gravedad, mejorará sus ingresos económicos de la población, para este tipo de estudio de desarrolla una la evaluación de costo beneficio ya que los beneficios son cuantificables.

4.2 Planteamiento técnico

4.2.1 Requerimiento hídrico para riego

La demanda está constituida por el requerimiento hídrico de cada cultivo más importante de la zona, se calcula mediante los índices de evapotranspiración, los niveles de precipitación mensual y otras variables en cada mes del año, la variable en estudio es la Eficiencia de riego en la línea de conducción y la demanda, tanto en la situación actual y en sistema planteado, para la cual se ha determinado que para el sistema de riego por aspersión la eficiencia de riego es 70%, y para el sistema de riego por gravedad la eficiencia de riego es 40%, siendo estas Variables para la determinación de la demanda hídrica.

A continuación, se procede a determinar el requerimiento hídrico para el sistema de riego por gravedad y del sistema por aspersión:

4.2.2 Cedula de cultivo

La cédula de cultivo, ha sido definida por las condiciones de la zona y experiencias de los beneficiarios del estudio, cuyo cultivo principal es para pastos.

Tabla 10: Cédula De Cultivo

CULTIVOS BASE	Kc de los Cultivos												CULTIVOS DE ROTACIÓN
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Pastos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	Pastos
Kc ponderado	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Evapotranspiración potencial (ETp)

Es la cantidad de agua consumida, durante un determinado período de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua. Se expresa en mm/mes.

La información recopilada de la evapotranspiración en el ámbito de estudio tiene como fuente datos de la estación meteorológica La Encañada, información adquirida de primera fuente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI- Caj. (SENAMHI, 2015).

Con los datos recopilados se presenta la medición y cómputo de los datos requeridos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia por medio del Método de Hargreaves.

Tabla 11: Evapotranspiración potencial

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)													
* Método de Hargreaves, en función a Porcentajes de Horas de Sol Posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura													
Latitud: S	7.12°											Altitud:	2,862.00 msnm
PARÁMETRO DE CÁLCULO	UNIDAD	M E S E S											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Media Mensual	°C	14.3	14.4	14.5	14.3	13.8	13.3	12.9	13.6	14.2	14.3	14.4	14.5
TF - Temperatura Media Mensual	°F	57.74	57.92	58.10	57.74	56.84	55.94	55.22	56.48	57.56	57.74	57.92	58.10
RMM - Radiación E Terrestre, equivalente de evaporación	mm	495.0	465.6	483.6	435.9	410.2	377.3	399.1	428.8	448.3	488.4	477.4	491.9
S - Porcentaje de Horas de Sol	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
RSM - Radiación Equivalente Mensual	mm	371.3	349.2	362.7	327.0	307.6	282.9	299.4	321.6	336.2	366.3	358.0	368.9
CE - Factor de Corrección por Altitud		1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057
ETp - Evapotranspiración Potencial	mm/mes	170.0	160.4	167.1	149.7	138.7	125.5	131.1	144.0	153.5	167.7	164.4	170.0

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 Coeficiente cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de cada especie y expresa la capacidad de la planta

para extraer el agua del suelo en las distintas etapas del período vegetativo. No se expresa en unidades. Habiéndose identificado el área del proyecto, las características del cultivo, se determinó de acuerdo a la metodología de FAO M-56, el factor de cultivo. A continuación, se muestran el Kc.

Tabla 12: Coeficiente de uso consuntivo para la cédula de cultivo (kc).

Cultivos de base	Área há	Kc												Cultivos de rotación	Área (há.)
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Pastos	38.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	Pastos	38.38
Kc ponderado		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	38.38														38.38

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5 Precipitación efectiva (P. Efec.)

Es la cantidad de agua del total de precipitación que aprovecha la planta para cubrir sus necesidades parcial o totalmente. Se expresa en mm.

Tabla 13: Precipitación efectiva

Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación Total Mensual	mm	74.50	101.00	105.30	64.20	34.20	11.40	10.00	30.50	29.50	63.70	59.50	69.50
Precipitación Efectiva Promedio Mensual	mm	74.50	101.00	105.30	64.20	34.20	11.40	10.00	30.50	29.50	63.70	59.50	69.50
Precipitación Total Mensual al 75%	mm	55.88	75.75	78.98	48.15	25.65	8.55	7.50	22.88	22.13	47.78	44.63	52.13

4.2.6 Eficiencia de riego. ef.

La eficiencia de riego Actual es de 40 % (Riego por gravedad en malas condiciones), se ha determinado del análisis y con el nuevo sistema de riego por aspersión el incremento de la Ef. (Aspersión) es 70%.

4.2.7 Tiempo de riego (N° horas riego)

Es el tiempo de riego efectivo en el que se podrá utilizar el sistema. Se expresa en horas.

4.2.8 Módulo de riego (MR)

Es el caudal continuo de agua que requiere una hectárea de cultivo. Se expresa en l/s.

4.2.9 Área de cultivo - (Área Total)

Es la cantidad de terreno a irrigar, para el sistema de riego por gravedad y el sistema de riego por aspersión, siendo para el área total de: 38.38 Hectáreas.

A continuación, se calcula la demanda hídrica para los sistemas en estudio:

Tabla 14: Demanda Hídrica para Riego por Gravedad

DESCRIPCION	ÁREA	MESES												MEDIA EN MESES CRITICOS	CULTIVO ROTACIÓN	ÁREA
	há	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			há
Pastos	38.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		Pastos	38.38
Días del mes		31.00	29.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00			
Area cultivo (Has)		38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38			
Kc medio ponderado		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
ETp (mm/mes)		120.81	103.74	110.29	96.97	92.69	92.77	97.45	108.56	110.00	119.87	128.78	124.07	102.20		
ETp (mm/día)		3.90	3.58	3.56	3.23	2.99	3.09	3.14	3.50	3.67	3.87	4.29	4.00	3.35		
ETc = Kc*Etp (mm/mes)		120.81	103.74	110.29	96.97	92.69	92.77	97.45	108.56	110.00	119.87	128.78	124.07	102.20		
Precip. efectiva al 75% (mm/mes)		55.88	75.75	78.98	48.15	25.65	8.55	7.50	22.88	22.13	47.78	44.63	52.13	15.26		
Requerimiento Neto = Etc-PPefect		64.94	27.99	31.32	48.82	67.04	84.22	89.95	85.69	87.88	72.10	84.16	71.95	86.93		
Requerimiento Neto (m3/Ha)		649.35	279.90	313.15	488.20	670.40	842.20	899.50	856.85	878.75	720.95	841.55	719.45	869.33		
Requerimiento bruto con 40% Efic.		1,623.38	699.75	782.88	1,220.50	1,676.00	2,105.50	2,248.75	2,142.13	2,196.88	1,802.38	2,103.88	1,798.63	2,173.31		
Requerimiento bruto total m3/mes		62305.13	26856.41	30046.74	46842.79	64324.88	80,809.09	86,307.03	82,214.76	84,316.06	69,175.15	80,746.72	69,031.23	83,411.73		
Requerimiento bruto total lt/seg		23.26	10.72	11.22	18.07	24.02	31.18	32.22	30.70	32.53	25.83	31.15	25.77	31.66		

El requerimiento de caudal del sistema de riego es: **32.53 lt/seg** para el mes de **Setiembre**

El caudal de diseño del sistema de riego es: **32.53 lt/seg** EL CAUDAL DISPONIBLE ES: **20.00 lt/seg** 0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Análisis de la Oferta – Demanda – riego por gravedad

PARAMETRO	UNIDAD	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Demanda	(m3/mes)	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845	1 025 845
oferta	(m3/mes)	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720
Balance O/D	(m3/mes)	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125	- 395 125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Demanda Hídrica para Riego por Aspersión

DESCRIPCION	ÁREA	MESES												MEDIA EN MESES CRÍTICOS	CULTIVO ROTACIÓN	ÁREA
	há	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			há
Pastos	38.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		Pastos	38.38
Días del mes		31.00	29.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00			
Area cultivo (Has)		38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38	38.38			
Kc medio ponderado		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
ETp (mm/mes)		120.81	103.74	110.29	96.97	92.69	92.77	97.45	108.56	110.00	119.87	128.78	124.07	102.20		
ETp (mm/día)		3.90	3.58	3.56	3.23	2.99	3.09	3.14	3.50	3.67	3.87	4.29	4.00	3.35		
ETc = Kc*Etp (mm/mes)		120.81	103.74	110.29	96.97	92.69	92.77	97.45	108.56	110.00	119.87	128.78	124.07	102.20		
Precip. efectiva al 75% (mm/mes)		55.88	75.75	78.98	48.15	25.65	8.55	7.50	22.88	22.13	47.78	44.63	52.13	15.26		
Requerimiento Neto = Etc-PPfect		64.94	27.99	31.32	48.82	67.04	84.22	89.95	85.69	87.88	72.10	84.16	71.95	86.93		
Requerimiento Neto (m3/Ha)		649.35	279.90	313.15	488.20	670.40	842.20	899.50	856.85	878.75	720.95	841.55	719.45	869.33		
Requerimiento bruto con 70% Efic.		927.64	399.86	447.36	697.43	957.71	1,203.14	1,285.00	1,224.07	1,255.36	1,029.93	1,202.21	1,027.79	1,241.89		
Requerimiento bruto total m3/mes		35602.93	15346.52	17169.57	26767.31	36757.07	46,176.62	49,318.30	46,979.86	48,180.61	39,528.66	46,140.98	39,446.42	47,663.85		
Requerimiento bruto total lt/seg		13.29	6.12	6.41	10.33	13.72	17.82	18.41	17.54	18.59	14.76	17.80	14.73	18.09		

El requerimiento de caudal del sistema de riego es: **18.59 lt/seg** para el mes de **Setiembre**

El caudal de diseño del sistema de riego es: **18.59 lt/seg** EL CAUDAL APROBECHADO ES: **20.00 lt/seg** 0.00
630 720.00 M3/Mes

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Análisis de la Oferta – Demanda – riego por aspersión

PARAMETRO	UNIDAD	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Demanda	(m3/mes)	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197	586 197
oferta	(m3/mes)	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720	630 720
Balance O/D	(m3/mes)	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523	44 523

Fuente: Elaboración propia.

4.2.10 Disponibilidad hídrica para riego

Actualmente tiene asignado captar las aguas para el canal de riego en las captaciones LA PACCHA, la cual cuenta con una disponibilidad hídrica de 20.00 l/s, la cual actualmente se riega con un sistema de riego por gravedad mediante un canal sin revestir.

4.2.11 Balance hídrico

Como se puede apreciar en el cuadro N° 15, respecto al sistema de riego por gravedad, la demanda de agua requerida no es cubierta por la oferta hídrico disponible de las captaciones de la Localidad de San Martín, existiendo un superávit en todo el año, lo que significa que la eficiencia de riego no es el adecuado y por las filtraciones no se aprovecha la disponibilidad hídrica.

Además, se puede apreciar en el cuadro N° 17, con respecto al mejoramiento de la infraestructura a un sistema de riego por aspersión, la demanda de agua requerida es cubierta por la oferta hídrico disponible durante todo el año de las captaciones de la Localidad de San Martín, lo que significa que la eficiencia de riego es el adecuado y se aprovecha la disponibilidad hídrica; ya que la demanda es menor que la oferta hídrica.

Ello se logra con la eficiencia de riego de todo el sistema propuesto, es decir mejorando la conducción, distribución y la aplicación de agua en la zona a regar.

Tabla 18: Balance demanda –oferta Riego por Gravedad

AÑOS	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2018	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2019	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2020	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2021	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2022	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2023	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2024	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2025	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2026	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2027	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43
2028	1 025 845.4	630 720.00	-395125.43

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19: Balance demanda –oferta Riego por Aspersión

MES	DEMANDA	OFERTA	BALANCE (m3/mes)
E	586 197	630 720	44 523
F	586 197	630 720	44 523
M	586 197	630 720	44 523
A	586 197	630 720	44 523
M	586 197	630 720	44 523
J	586 197	630 720	44 523
J	586 197	630 720	44 523
A	586 197	630 720	44 523
S	586 197	630 720	44 523
O	586 197	630 720	44 523
N	586 197	630 720	44 523
D	630 720	44 523	- 586 197

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.12 Planteamiento agronómico

Determinación de las necesidades hídricas:

CC = Contenido de humedad del suelo en Capacidad de Campo.

PMP= Contenido de humedad del suelo en el punto de marchitez permanente

(% en peso).

Da = Densidad aparente (Mg/m³).

P = Profundidad efectiva (m).

Etc= Evapotranspiración del Cultivo (mm/día).

LR= Fracción de lavado.

Ef = Eficiencia de aplicación.

Pm= Área mínima regada (%).

At= Área total a regar. Qd = Caudal disponible.

Trd = Tiempo de riego por día

I= Intervalo de riego.

Cálculos de los requerimientos del diseño agronómico para el estudio:

Para calcular el Módulo de Riego en la época de estiaje, se ha partido de una Evapotranspiración promedio de 3.35 mm/día (cédula de cultivo) un Kc (Coeficiente de Riego Kc para determinado cultivo) promedio de 1.00 y una eficiencia de riego del 70% con lo cual se obtiene un módulo de riego 0.55 lt/seg/Ha.

MÓDULO DE RIEGO PROMEDIO DEL SISTEMA

$$MS = Mn / Ef$$

MS =	Módulo bruto de riego del sistema.
Mn =	Módulo neto de riego del sistema.
Ln =	Lámina neta de riego.
Ef =	Eficiencia de riego: 70%.

Mn =	<u>Ln x 10000</u>		
	86400		
Ln = ETP x Kc (Promedio)			

Datos:

ETP =	ETP = Evapotranspiración Potencial
	3.35 mm/día (Cédula de cultivo)
Kc	= Coeficiente de Riego
determinado cultivo	1.00 (Cédula de cultivo)

Calculo de la Lámina neta de riego

$L_n =$	3.35	mm/día x	1.00
---------	------	----------	------

$L_n =$	3.35	mm/día
---------	------	--------

Calculo del Módulo neto de riego del sistema

$M_n =$	$\frac{L_n \times 10000}{86400}$
---------	----------------------------------

$M_n =$	0.39	lt/seg/Ha
---------	------	-----------

MÓDULO BRUTO PROMEDIO DEL SISTEMA (MS)

$MS =$	$\frac{M_n \times 100}{E_f}$
$MS =$	0.55 l/s/ha

CÁLCULO DEL ÁREA REGABLE PROMEDIO POR MES

$A =$	$\frac{Q}{MS}$
-------	----------------

$A =$ Área regable				
$Q =$ Caudal Promedio disponible:	20.00	lt/seg		
$MS =$	0.55	l/s/ha		

$A =$	$\frac{20.00}{0.55}$
$A =$	36.11 Has

INTERVALO DE RIEGO (IR) PASTOS

Teniendo en cuenta el cultivo más crítico, en este caso los pastos, la profundidad radicular del mismo: 0.35 m y una capacidad de retención de agua del suelo del 20% , se ha procedido a determinar los diferentes parámetros hidráulicos que se indican a continuación

$$IR = \frac{LARA \text{ (mm)}}{Ln \text{ (mm/día)}}$$

LARA =	Lámina de agua Rápidamente Aprovechable	
Ln =	Lámina neta de riego:	3.35 mm/día

$$LARA = PR \text{ (m) } \times ARA \times FARA \times 1000$$

PR =	0.4	Profundidad Radicular en metros (Tabla N° 07)				
ARA =	0.2	Agua Rápidamente aprovechable (Tabla N° 08)				
FARA =	0.50	Fracción de Agua Rápidamente Aprovechable (Tabla N° 09)				

$$LARA = 0.35 \times 0.20 \times 0.50 \times 1000$$

* **DOTACION NETA DE RIEGO (Dn)**

Entonces:	Lámina de agua Rápidamente Aprovechable						
LARA =	35.00 mm						
Entonces:	Intervalo de riego (IR)						
IR =	35.00						
	3.35						
IR =	10.45	días	=	10.4	días		
IR =	10	Días					

DOTACIÓN BRUTA (Db)

$$Db = \frac{Dn \times 100}{Ef}$$

Db =	Dotación Bruta.		
Dn =	=	Dotación neta = LARA	
Ef =	=	Eficiencia de riego 70%	

Db =	35.00	x	100
	70		
Db =	50.0	mm	

Calculo del caudal necesario para regar toda la zona (Q)

$$Q = A * MS$$

Donde=

A (área a regar en hectareas)= **36.11** hectareas

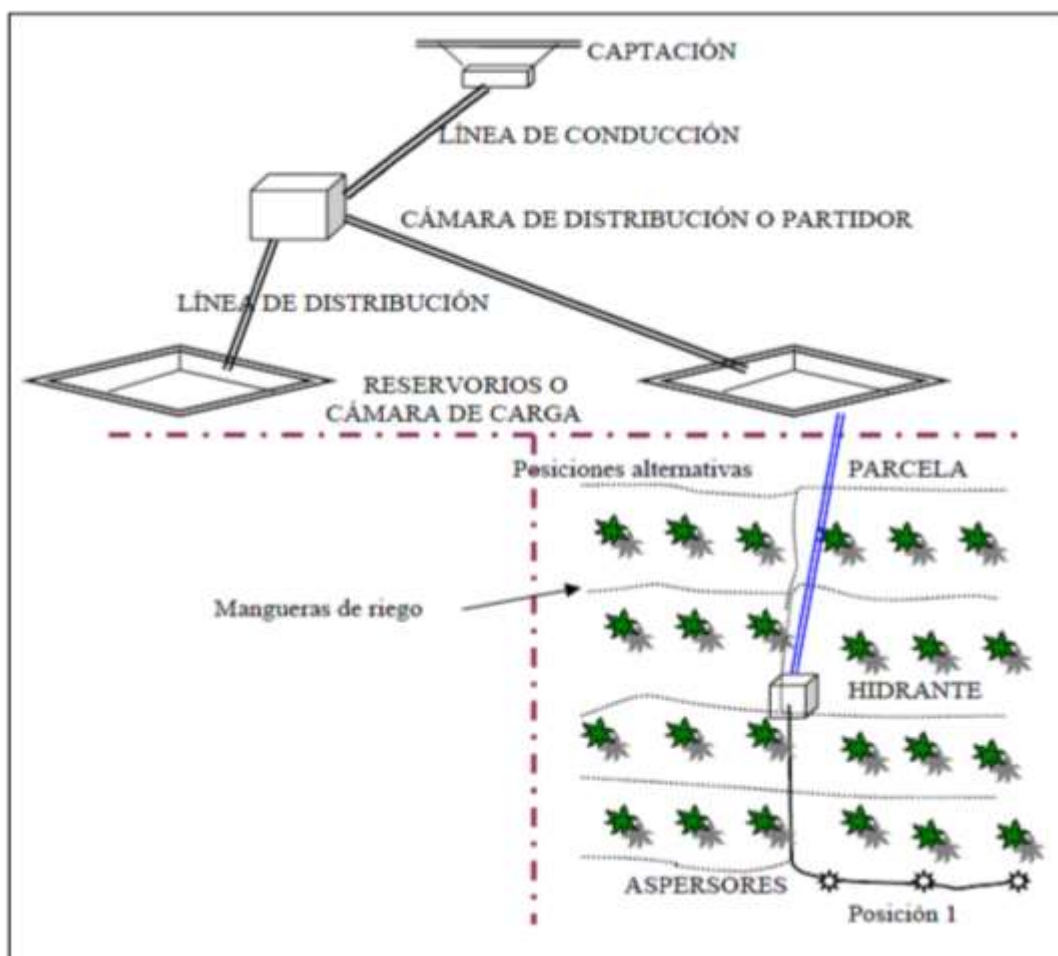
Reemplazando valores en la ecuación se tiene:

Q= 20.00 l/s caudal de diseño

4.2.13 Componentes del sistema de riego por aspersión

- Captación.
- Líneas de conducción.
- Cámaras de carga.
- Tanques repartidores.
- Línea de distribución.
- Hidrantes.
- Línea móvil de riego.

Figura 7: Esquema de un sistema de riego por aspersión en ladera



Fuente: (Nuñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego, 2015).

4.2.14 Resultados esperados

Para el objetivo específico 1: Mejorar la eficiencia de riego en la línea de conducción del sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca.

De los resultados obtenidos en la tabla 3 y 7 se evidencia que la eficiencia de la línea de conducción está relacionado al tipo de infraestructura de riego, para el estudio se tiene una eficiencia de la línea de conducción de 0.69, siendo bajo para tener un riego adecuado, del análisis del resultado y del objetivo planteado se requiere

el mejoramiento de la eficiencia de riego planteando una infraestructura de riego que brinde una eficiencia mayor.

Tabla 20: Resultados del cálculo de la eficiencia

Método de riego	Eficiencia (%)
Gravedad	0.40
Aspersión	0.70

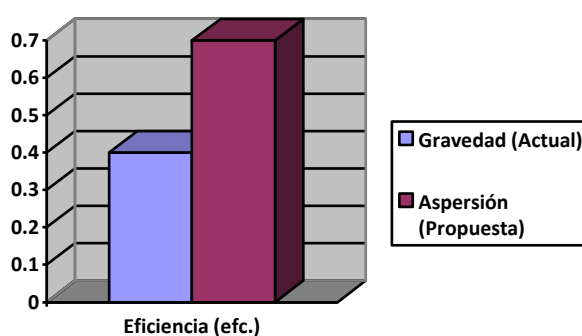


Figura 8: Eficiencia de conducción

Fuente: Elaboración propia.

Para el objetivo específico 2: Reducir las pérdidas de agua por filtraciones en el sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca. Utilizando un nuevo sistema de riego.

De los resultados obtenidos en la tabla 3 se evidencia que la disponibilidad hídrica es de 20.00 lt/seg. Siendo el caudal de ingreso a la línea de conducción y el caudal de salida es mucho menor llegando a 13.84 lt/seg. y la pérdida de agua por filtraciones es de 6.16 lt/seg. debido a tipo de infraestructura, del análisis del resultado y del objetivo planteado se requiere una infraestructura de riego que permita reducir dichas pérdidas y no afecte la demanda requerida en la zona de estudio, además existe

una relación directa con la demanda hídrica, por lo que de los resultados analizados en la tabla 14 y 16 se plantea un sistema de riego por aspersión ya que se optimiza el recurso hídrico.

Tabla 21: Resultados del cálculo de la demanda de agua

Sistema de riego	Demanda de caudal de agua (l/seg.)
Gravedad	32.53
Aspersión	18.59

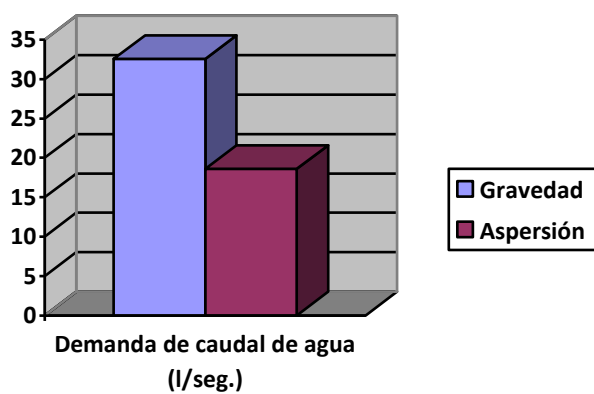


Figura 9: Demanda de agua

Fuente: Elaboración propia.

V. Discusión de resultados

Discusión del resultado del objetivo específico 1: Mejorar la eficiencia de riego en la línea de conducción del sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca.

Los resultados obtenidos en la Tabla 3 y 20 se evidencia un nivel de correlación entre el caudal de salida de la captación y caudal de salida del canal de conducción, en donde se determina la eficiencia de conducción del tramo analizado, resultados que al ser comparados guardan relación con lo sostenido por (Huamán, 2013). El trabajo de investigación titulado: “Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca - Cajamarca”, concluyó que la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, es de 91.40%, en un tramo de 1.00 Km. de canal, correspondiente a las progresivas 0+500 al 1 +500, quien concluye que es la eficiencia de conducción alta, con estos datos se afirma que con el sistema de riego por aspersión si contribuye a mejorar la eficiencia de riego actual, además, (Núñez, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego, 2015), quien concluye con los resultados en la tabla 7 que la eficiencia de riego con el sistema de riego por aspersión es mayor, con la cual se garantiza el cumplimiento de los objetivos.

Discusión del resultado del objetivo específico 2: Reducir las pérdidas de agua por filtraciones en el sistema de riego, en la Provincia de Cajamarca. Utilizando un nuevo sistema de riego.

Los resultados obtenidos en la Tabla 3 y 21 se evidencian la pérdida de agua por filtraciones la cual tiene relación con el caudal de ingreso y salida de la infraestructura de riego actual.

datos que al ser comparados con lo encontrado por Minagri (2010) El agua es manejada de manera ineficiente, debido a factores como la pérdida por filtración a nivel de canales, falta de mantenimiento de infraestructura de riego, quien concluye como un factor el mal manejo del recurso hídrico por las filtraciones de agua en la infraestructura de riego, con estos datos se afirma que con el sistema de riego por aspersión si contribuye a mejorar la eficiencia de riego actual, además, el (MINAGRI y Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego–DGIAR–2015) quien concluye que la eficiencia es un método de evaluación de una infraestructura de riego la cual tiene que ver con las pérdidas de agua por filtraciones. Si la pérdida es mucho hay que utilizar una mayor cantidad de agua para obtener el mismo resultado. Hay sistemas de riego más eficientes que otros por la forma en que conducen, distribuyen y aplican el agua, como es el sistema de riego por aspersión.

VI. Conclusiones

Respecto a la eficiencia de conducción del canal de riego por gravedad de la Localidad de San Martín, del tramo de muestra se calculó la eficiencia de conducción dando un valor de 69%, lo que indica que es bajo en comparación con una línea de conducción entubado de riego por aspersión, donde la eficacia está entre los valores de 80% y 90%.

Con respecto a la eficiencia calculada, se determinó los caudales de ingreso y salida, del canal de riego, la cual se detallan en el Cuadro N° 03.- Cálculo de la eficiencia de conducción canal, teniendo los siguientes valores:

- Caudal máximo de ingreso: 20.00 l/s.
- Caudal máximo de salida: 13.84 l/s.
- pérdida de caudal por filtraciones: 4.16 l/s.
- Disponibilidad hídrica (Oferta) es: 20.00 lt/seg.

Con respecto al requerimiento hídrico se ha considerado: para riego por gravedad una eficiencia de riego de 40%, y para riego por aspersión una eficiencia de riego de 70%, en donde se concluye que:

- La demanda hídrica para el sistema de riego por gravedad (Canal sin revestir) es: 32.53 lt/seg.
- La demanda hídrica para el sistema de riego por aspersión es: 18.59 lt/seg.

Finalmente se concluye que con el mejoramiento de la infraestructura de riego a un sistema a de riego por aspersión, se incrementa la eficiencia de conducción y se estaría dando un mayor aprovechamiento hídrico del sistema de riego en la Localidad de San Martín, distrito de la Encañada – Cajamarca.

VII. Recomendaciones

Se recomienda realizar proyectos de infraestructura de riego, en donde se maximice el uso adecuado de la disponibilidad hídrica, mejorando y tecnificando los sistemas de riego en la región.

Se recomienda plantear sistemas de riego con infraestructuras adecuadas en donde se garantice una mayor eficiencia de riego.

Se recomienda a la Facultad de Ingeniería Civil - UNFV, continuar con esta investigación, tomando en cuenta más variables, tales como: la velocidad del flujo, temperatura ambiental, tipo de suelo de fundación del canal, entre otros.

VIII. Referencias

- Anten, M. (2000). Diseño de Pequeños Sistemas de Riego. En M. Anten, *Diseño de Pequeños Sistemas de Riego* (pág. 7). Cajamarca: Minagri-PRONAMACHCS.
- Ascencio, D. (2012). Guía técnica Sistema de Riego. *Riego de riego*, 12.
- Ascencio, D. (2012). <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/023-c-mad.pdf>.
Obtenido de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/023-c-mad.pdf>:
<https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/023-c-mad.pdf>
- BCRP. (05 de Diciembre de 2018).
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/cajamarca-caracterizacion.pdf>. .
Obtenido de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/cajamarca-caracterizacion.pdf>. : Recuperado.
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/cajamarca-caracterizacion.pdf>.
- DGIAR, A. N. (2015). *Cuadernillo de cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima: DGIAR-Minagri.
- FAO.Org. (2011). *III. Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>.:
<http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>.
- Goicochea, R. (2013). “Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca-Cajamarca”. Cajamarca.
- GORECaj. (2014). *Diagnóstico Territorial del Departamento de Cajamarca*. Cajamarca: GORECaj.
- Huamán, J. (2013). *Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego Huayrapongo, distrito de Baños del Inca • Cajamarca*. Cajamarca.

- INEI. (15 de Octubre, Noiviembre de 2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Obtenido de Perfil Agropecuario Cajamarca:
https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/mapoteca_virtual/CENAGRO_2012/Guias/Cajamarca/perfil7agropecuario/IV-CENSO/pdf
- Ing. Oviedo, A. (2018). (pág. 26). Ayacucho: MINAGIR-PSI.
- Ledesma, R. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Cajamarca: INEI.
- Libélula. (15 de Julio de 2011). *Diagnóstico de la Agricultura*. Obtenido de Diagnóstico de la Agricultura: Recuperado,
https://www.sudamericarural.org/images/en_papel/archivos/Diagno_stico_de_la_Agri cultura_en_el_Peru_-_web.pdf
- MEF. (2015). *mef.gob.pe*. Obtenido de mef.gob.pe:
<https://www.mef.gob.pe/en/component/content/article?id=61:conoce-los-conceptos-basicos-para-comprender-la-economia-del-pais>
- Minagri. (2012). *www.minagri.gob.pe*. Obtenido de *www.minagri.gob.pe*:
www.minagri.gob.pe
- Minagri. (2017). *Ley de Recursos Hídricos*. Lima: Minagri.
- Minagri. (2016). *La Política Nacional Agraria*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Mundial, B. (2013). El Futuro del Riego en el Perú Desafíos y Recomendaciones. *Desafíos y Recomendaciones Volumen II: Informe Principal*, 200.
- Núñez, A. (2015). Mamual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego. En A. Núñez, *Mamual de cálculo de eficiencia para riego para sistemas de riego*. (pág. 7). Lima: Minagri-DGIAR.
- Núñez, A. (2015). Manual del Cálculo de eficiencia para Sistema de Riego. En A. Núñez, *Manual del Cálculo de eficiencia para Sistema de Riego* (pág. Manual del Cálculo de eficiencia para Sistema de Riego). Lima: Minagri - DGIAR.

- Núñez, A. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima: Minagri-DGIAR.
- SENAMHI. (Enero de 2015). www.senamhi.com.pe. Obtenido de www.senamhi.com.pe:
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03708SENA-41.pdf>.
- Sevilla, J. (2014). Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en laderas. *Programa Subsectorial de Irrigaciones - PSI*, 8.
- Sevilla, J. (2014). Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en laderas. *Programa Subsectorial de Irrigaciones - PSI*, 10.
- Vargas, J. (2012). *Censo Agropecuario - Perfil agropecuario Cajamarca*. Cajamarca: INEI - ODEI – Cajamarca).
- ZEE-OT, E. T. (2010). Propuesta de ZEE-OT. *Zonificación Ecológica y Económica como Base para OT de Cajamarca.*, 135.
- Zegarra, E. (24 de Octubre de 2002).
www.grade.org.pe/publicaciones/buscar/Lainvestigación. Obtenido de
www.grade.org.pe/publicaciones/buscar/Lainvestigación:
www.grade.org.pe/publicaciones/buscar/Lainvestigación
- Zúñiga, J. (2009). http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_exposiciones_2009_Presentacion-ING.-Zuniga.pdf. Obtenido de http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_exposiciones_2009_Presentacion-ING.-Zuniga.pdf: recuperado, http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_exposiciones_2009_Presentacion-ING.-zuniga.pdf.

IX. Anexos

Anexo 1

Panel fotográfico



Figura 9: Progresiva 0+00 – Captación.



Figura 10: Progresiva 0+020 – Medición del caudal de entrada, en tramo de muestra línea de conducción.



Figura 11: Progresiva 0+200 – medición del caudal de salida en tramo de muestra línea de conducción.



Figura 12: Progresiva 0+150 – Línea conducción se verifica la filtración Por el canal sin revestir.

Anexo 2

Croquis

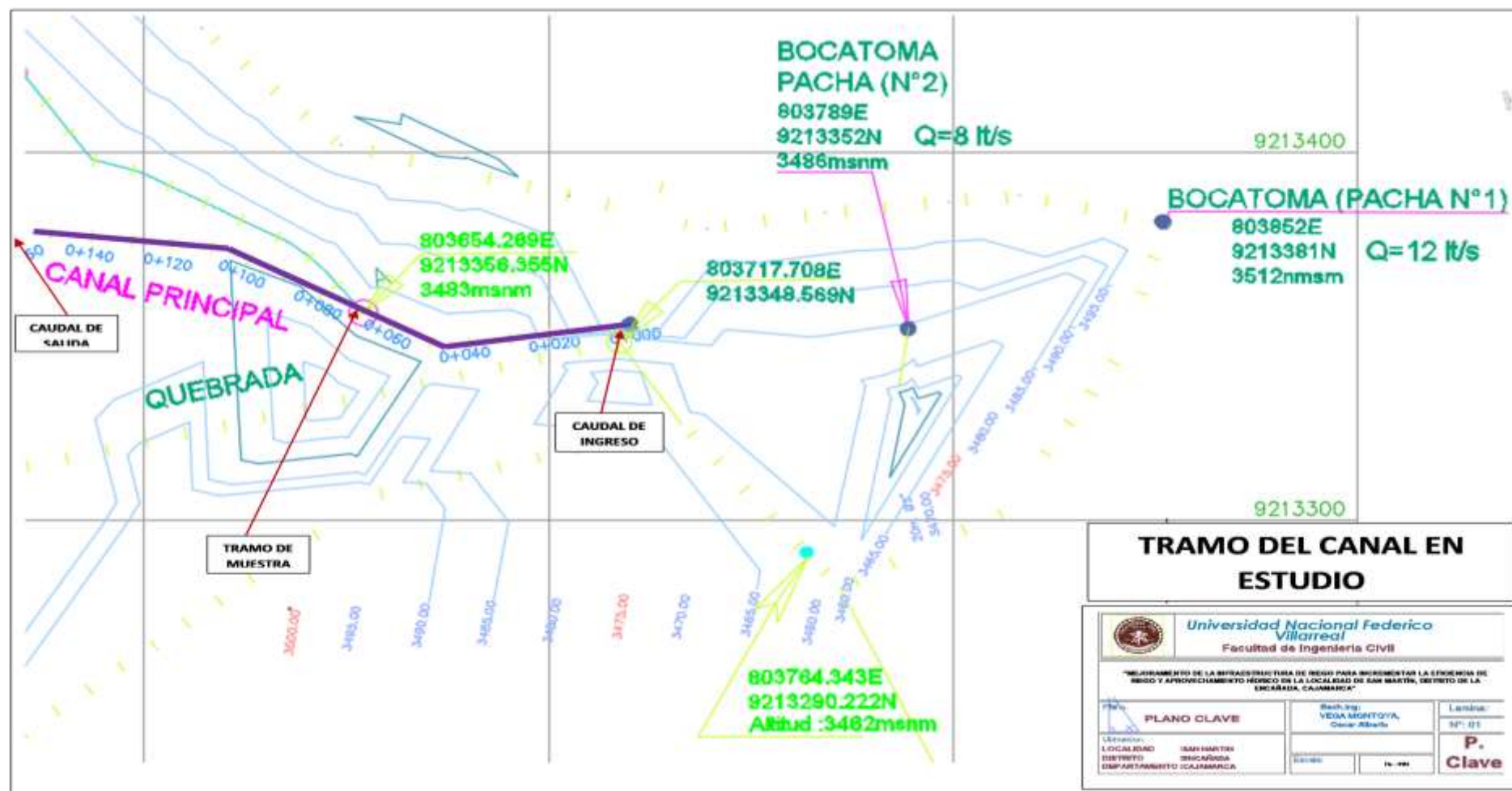


Figura 13: Croquis de tramo de muestra.