

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Diseño de la red del sistema de riego por aspersion de una extensión agrícola de
papa nativa, en la localidad de Tactayoc, Pasco – 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Autores:

Bach. Carlos Alberto EGUSQUIZA CORNELIO

Bach. Cristian HUAMAN HILARIO

Asesor:

Mg. Moisés TONGO PIZARRO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



T E S I S

**Diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de
papa nativa, en la localidad de Tactayoc, Pasco – 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Manuel Jorge CASTILLO NOLE
PRESIDENTE

MSc. Josué Hernán INGA ORTIZ
MIEMBRO

Dr. Hickey Emilio CORDOVA HERRERA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 064-2025/UIFCCAA/V

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por
EGUSQUIZA CORNELIO, Carlos Alberto
HUAMAN HILARIO, Cristian

Escuela de Formación Profesional
Agronomía - Pasco

Tipo de trabajo
Tesis

Diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa, en la localidad de Tactayoc, Pasco – 2024

Asesor
Mg. TONGO PIZARRO, Moisés

Índice de similitud
5 %

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación del software anti-plagio.

Cerro de Pasco, 31 de octubre de 2025



Firmado digitalmente por HUMANO
TOVAR Luis Antonio FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31.10.2025 17:27:33 -05:00

Firma Digital
Director UIFCCAA

c.c. Archivo
LHT/UIFCCAA

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, salud y sabiduría para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo moral y emocional. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. A mi familia, por estar siempre presentes, alentándome y brindándome su confianza. A mis profesores y tutores, por su guía, exigencia y compromiso con la formación académica. A todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo, les expreso mi más sincero agradecimiento.

A mis padres:

Pilares de mi existencia, arquitectos de mi perseverancia. Por creer en mí cuando el espejo dudaba, por envolver mis noches de estudio en oraciones y convertir el "no puedo" en "sigo adelante".

Gracias por recordarme, con su ejemplo silencioso, que hasta los sueños más altos necesitan raíces: las suyas fueron el agua de la fe en Dios y el pan caliente que alimentó esta lucha.

Esta tesis es el fruto de las semillas que plantaron en mí antes de que supiera caminar. Donde termina su amor, comienzan mis palabras.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza, salud y perseverancia para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres y seres queridos, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en cada paso de mi formación académica.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme una educación de calidad y la oportunidad de formarme como profesional en la Escuela Profesional de Agronomía.

A mis docentes y asesores, por compartir su conocimiento, orientación y dedicación a lo largo de mi carrera y en la elaboración de esta tesis.

A mis compañeros de estudio y de campo, por su amistad, colaboración y compañerismo durante todos estos años.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este trabajo de investigación.

RESUMEN

El riego por aspersión es una técnica presurizada que distribuye agua mediante aspersores que pulverizan pequeñas gotas, simulando la lluvia. La red compuesta por tuberías, válvulas y aspersores impulsa el agua desde una fuente mediante bombas o presión gravitacional, ofreciendo una aplicación flexible y controlada sobre el cultivo o terreno.

Este sistema es especialmente útil en terrenos irregulares o donde otros métodos (como el riego por gravedad) no resultan efectivos.

El diseño agronómico involucra los siguientes aspectos:

- Estudio del sitio: clima, topografía, tipo de suelo, calidad de agua y necesidades hídricas del cultivo.
- Cálculo del requerimiento neto de agua (evapotranspiración del cultivo menos lluvia efectiva) para determinar dosis y frecuencia del riego.
- División del terreno en zonas homogéneas según cultivo, suelo y pendiente.

El diseño hidráulico involucra los siguientes aspectos:

- Selección de aspersores según presión, radio de alcance y tipo: impacto, rotatorio o fijo.
- Ubicación de laterales: en sentido perpendicular al viento y paralelos a la pendiente para ahorro energético y minimizar distorsión por viento.
- Tuberías: principales con pérdidas $\leq 15 \%$, laterales $\leq 20 \%$ para mantener uniformidad

Palabras claves: caudal del sistema, diámetro de la tubería, presión de trabajo.

ABSTRACT

Sprinkler irrigation is a pressurized technique that distributes water through sprinklers that spray small droplets, simulating rain. The network composed of pipes, valves, and sprinklers propels water from a source using pumps or gravity pressure, offering flexible and controlled application to the crop or land.

This system is especially useful on uneven terrain or where other methods (such as gravity irrigation) are ineffective.

Agronomic design involves the following aspects:

- Site analysis: climate, topography, soil type, water quality, and crop water needs.
- Calculation of the net water requirement (crop evapotranspiration less effective rainfall) to determine irrigation rates and frequency.
- Division of the land into homogeneous zones based on crop, soil, and slope.
- Hydraulic design involves the following aspects:
- Selection of sprinklers based on pressure, range, and type: impact, rotary, or fixed.
- Lateral location: perpendicular to the wind and parallel to the slope to save energy and minimize wind distortion.
- Pipes: main with losses $\leq 15\%$, laterals $\leq 20\%$ to maintain uniformity.

Keywords: system flow, pipe diameter, working pressure.

INTRODUCCIÓN

El riego por aspersión es un método presurizado que simula la lluvia al pulverizar agua mediante aspersores sobre la superficie del suelo.

El diseño de sistemas de riego por aspersión combina fundamentos agronómicos e hidráulicos para simular de forma eficiente la distribución de agua tipo lluvia, garantizar uniformidad y optimizar el uso del recurso hídrico. Al integrar estudios del terreno, cálculo de demandas y selección de componentes, se logra un sistema eficaz, sostenible y adaptable a diversos contextos.

Un diseño sólido de riego por aspersión integra:

- Un análisis riguroso de clima, suelo y cultivo
- Cálculos hidráulicos para asegurar presión uniforme y eficiente
- Selección adecuada de aspersores y disposición en marco homogéneo
- Automatización y monitoreo para un funcionamiento sostenible
- Evaluación continua y ajustes post-instalación

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	3
1.3.	Formulación del problema	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos	4
1.5.	Justificación de la investigación	5
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	6
2.2.	Bases teóricas – científicas	11
2.2.1.	Diseño Agronómico del riego	11
2.2.2.	Necesidad de agua de los cultivos	11
2.2.3.	La evapotranspiración potencial	12
2.2.4.	Coeficiente de Cultivo	13
2.2.5.	Eficiencia de riego	14
2.2.6.	Diseño hidráulico de riego	15
2.2.7.	Ecuación de Continuidad	16
2.2.8.	Ecuación de Bernoulli.....	17
2.2.9.	Fórmula de Hazen y Williams	19
2.2.10.	Pérdida de carga	19
2.3.	Definición de términos básicos	20
2.3.1.	Componentes de un sistema de riego por aspersión	20
2.3.2.	Demanda de agua de la parcela y del sistema de riego	22
2.3.3.	Módulo de riego	23
2.3.4.	Caudal de diseño del sistema de riego	24
2.3.5.	Área total regable	25
2.4.	Formulación de hipótesis	25
2.4.1.	Hipótesis general.....	25
2.4.2.	Hipótesis específicas	26
2.5.	Identificación de variables	26
2.5.1.	Variables Independientes	26

2.5.2. Variables Dependientes	26
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	28
3.2. Nivel de investigación.....	28
3.3. Métodos de investigación	28
3.4. Diseño de investigación	28
3.5. Población y muestra.....	29
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.6.1. Técnicas	29
3.6.2. Instrumentos.....	30
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	32
3.8. Tratamiento estadístico	32
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	32

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	34
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	36
4.2.1. Primera Etapa del Diseño Agronómico del Riego por Aspersión	36
4.2.2. Segunda Etapa del Diseño Agronómico del Riego por Aspersión	37
4.2.3. Primera Etapa del Diseño Hidráulico del Riego por Aspersión	41
4.2.4. Segunda Etapa del Diseño Hidráulico del Riego por Aspersión	43
4.3. Prueba de hipótesis	46
4.3.1. Hipótesis general de investigación.....	46

4.3.2. Hipótesis específicas de investigación.....	47
4.4. Discusión de resultados.....	47
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE CUADROS

	Página.
Cuadro 1. Resultados de la lámina neta y la lámina bruta de riego	7
Cuadro 2. Intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego).....	7
Cuadro 3. Rango de velocidad permisible y la tolerancia de presiones en el lateral	8
Cuadro 4. Valores estimados de ETP (condiciones de Cajamarca) en función de altura	12
Cuadro 5. Valores de coeficiente de cultivo promedio K.....	13
Cuadro 6 Consumo total de las parcelas con el porcentaje de cubrimiento que tiene cada cultivo	14
Cuadro 7. Variables e indicadores	27
Cuadro 8. Resultados de la lámina neta y la lámina bruta de riego. Morales (2018).	47
Cuadro 9. Intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego). Morales (2018).	48
Cuadro 10. Rango de velocidad permisible y la tolerancia de presiones en el lateral. Morales (2018).....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Franja exterior con menor intensidad de riego en una parcela de riego por aspersión	15
Figura 2. Ecuación de continuidad para cualquier fluido	16
Figura 4. Pérdida de carga entre las secciones 1 y 2.....	20
Figura 5 Componentes de un sistema de riego por aspersión.....	22
Figura 6. Módulo de riego de una parcela	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página.
Gráfico 1. Extensión agrícola de investigación - Comunidad de Tactayoc.....	30
Gráfico 2. Formato de información bibliográfica para diseño agronómico e hidráulico.....	31
Gráfico 3. Información de campo para el diseño agronómico y el diseño hidráulico del riego por aspersión	35
Gráfico 4. Cálculos del turno de riego, del N° de laterales y del caudal preliminar del sistema	36
Gráfico 5. Cálculo del caudal del aspersor y la comprobación de la intensidad de aplicación	38
Gráfico 6. Características del aspersor seleccionado	40
Gráfico 7. Cálculo del caudal ajustado del sistema y la verificación final	41
Gráfico 8. Cálculo de la presión requerida a la entrada del lateral	42
Gráfico 9. Resultados de parámetros hidráulicos en la tubería de distribución.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Resumen de Resultados del Diseño Agronómico.....	45
Tabla 2. Resumen de Resultados del Diseño Hidráulico	46

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la Provincia Daniel Alcides Carrión, la problemática principal radica en que la agricultura aún se desarrolla de manera tradicional, predominando el uso del riego por gravedad. Esta práctica se enfrenta a un escenario complejo, ya que la mayor parte de los terrenos de cultivo de los agricultores se ubican en zonas de topografía accidentada. Esta situación contrariada de practicar un riego pesado por gravedad en laderas con pendientes fuertes conlleva a deteriorar el suelo, ocasionándoles erosión hídrica y consecuentemente empobrecimiento del suelo agrícola. Y esta es una de las razones más relevantes para explicar la baja productividad o bajo rendimiento de los cultivos que se practican en estos terrenos de ladera empinada.

La Provincia Daniel Carrión cuenta con una topografía accidentada, por lo que es necesario practicar un sistema adecuado de riego a fin de no degradar el recurso suelo. Un riego pesado (por gravedad) como tradicionalmente se practica, paradójicamente, en vez de fortalecer la relación agua-suelo-planta, degrada al suelo causándole la erosión de los nutrientes edáficos. El riego recomendado para estos

terrenos de ladera, de relieves empinados, es el riego presurizado. El riego por aspersión, considerado un sistema presurizado de bajo costo y de fácil aplicación, representa una alternativa favorable. Su implementación no solo contribuye a reducir la erosión del suelo, sino que además permite un aprovechamiento más eficiente del recurso hídrico al incrementar el nivel de eficiencia del riego.

Actualmente, en la Provincia Daniel Carrión, en marco del financiamiento de proyectos de inversión, se vienen construyendo sistemas de riego por aspersión, como alternativa de solución ante la escasez de agua para los cultivos, y ante la misma erosión hídrica de los suelos. Sin embargo, es necesario precisar que, generalmente, estos sistemas de riego no se vienen usando en forma adecuada, dado que la capacitación sobre riego impartida, como parte del proyecto de inversión es todavía un tanto superflua, porque si bien es cierto en algunos casos se llega a adiestrar sobre el manejo de los componentes de riego, pero no se tiene un conocimiento sobre el control de los parámetros de hídricos e hidráulicos, como la dotación de riego y la presión del agua. Menester que es más competencia de un proyecto de investigación que de una capacitación de un proyecto de inversión

La problemática situacional del Sistema de Riego por Aspersión de Tactayoc, como la mayoría de los sistemas de riego por aspersión que se construyen en la Provincia Daniel Carrión, es que, a pesar de incluirse el componente de capacitación, se desconoce a ciencia cierta la influencia de los parámetros hídricos e hidráulicos de este tipo de riego, tales como, por ejemplo: frecuencia de riego, tiempo de operación, lámina de agua, diámetro de riego, presión hidráulica, caudal de riego. Razón por la cual, en muchas ocasiones, los sistemas de riego por aspersión terminan siendo mal operados y hasta por último abandonados.

El presente trabajo de investigación, a fin de contribuir y/o divulgar el conocimiento científico en nuestra Provincia Daniel Carrión, respecto de propiciar el buen uso y el aprovechamiento de las bondades del riego por aspersión, como: optimización hídrica, operación y mantenimiento, ha optado por estudiar la influencia de los parámetros hídricos-hidráulicos en la planificación del Sistema de Riego por Aspersión de Tactayoc, y con ello lograr un eficiente riego y contribuir a un consecuente incremento de la producción y productividad de los cultivos.

1.2. Delimitación de la investigación

La limitación de la investigación se ha delimitado en tres aspectos como son:

Espacio. El presente proyecto corresponde a una zona agrícola ubicada en la localidad de Tactayoc, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Alcides Carrión.

Tiempo. Desde la indagación bibliográfica hasta la planificación de actividades de campo y gabinete se necesita un mes, en el desarrollo de los trabajos de campo se necesita un mes, para luego entrar en fase de gabinete, desde la elaboración de hojas de cálculo hasta la aprobación del borrador de tesis, con dos meses, a fin de poder culminar con un trabajo de grado integro, completo y que generara fortalezas para la universidad en la posteridad.

Contenido. El trabajo se divide en partes principales que son:

- En la primera parte se encuentra la fase preliminar, donde, fundamentalmente, se proyecta, organiza y se planifica las actividades de campo y gabinete.
- La segunda parte corresponde a la fase de campo, donde, fundamentalmente se busca y se organiza la información bibliográfica.
- En la tercera parte se realiza la fase de gabinete, donde, fundamentalmente, se procesa la información usando aplicativos informáticos relacionados a hojas de

cálculo y dibujo asistido por computador. En esta etapa, finalmente, se describen los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones finales del trabajo.

Alcance. El alcance del trabajo es para los estudiantes de la carrera Profesional de Agronomía a nivel nacional, y se elaborará el un manual práctico del diseño de un sistema de riego por aspersión para su respectiva difusión.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo es el diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de cultivo de papa nativa en la comunidad de Tactayoc?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es el diseño agronómico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa en la comunidad de Tactayoc?
- ¿Cómo es el diseño hidráulico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa en la comunidad de Tactayoc?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el diseño de la red del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa en la comunidad de Tactayoc.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el diseño agronómico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa en la comunidad de Tactayoc.
- Evaluar el diseño hidráulico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa en la comunidad de Tactayoc.

1.5. Justificación de la investigación

Con la ejecución del presente trabajo de investigación se logrará elaborar un manual básico y fundamental sobre el diseño agronómico y el diseño hidráulico del riego por aspersión de la extensión de una parcela agrícola con condiciones topográficas accidentadas de ladera; la misma que redundará en el uso de una herramienta para el aprendizaje didáctico en estudiantes de Ingeniería Agrónoma o afín.

Justificación práctica. Su implicancia práctica del estudio radica en que en base a los resultados los estudiantes podrán corroborar los fundamentos teóricos.

Justificación teórica. El estudio será relevante porque se explicará el comportamiento de las variables de estudio en determinado contexto o realidad.

Justificación metodológica. Será relevante, pues para determinar la relación entre las variables de estudios, se utilizarán los respectivos instrumentos de medición, para registrar las mediciones en formatos que, posteriormente, serán procesados para su respectivo análisis y conclusión.

1.6. Limitaciones de la investigación

Según Bernal (2010), las limitaciones de una investigación suelen estar determinadas por el tiempo, el espacio y los recursos con los que se dispone.

- **Limitaciones de tiempo.** El estudio se ejecutó en el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2024.
- **Limitaciones de espacio.** La investigación corresponde a una extensión agrícola de la localidad de Tactayoc, distrito Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Alcides Carrión, departamento y región de Pasco.
- **Limitaciones de recursos.** El trabajo es autofinanciado por el propio investigador, lo que podría generar retrasos en la entrega del informe final.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Jurado (2022), en su propuesta de mejoramiento del sistema de riego, sector Cotaquite, distrito de Kishuara, provincia de Andahuaylas y región de Apurímac, En las zonas altoandinas del país, el agua constituye un recurso sumamente valioso y demandado por los agricultores. Con el fin de acceder a este, suelen formular proyectos de riego tecnificado en coordinación con las municipalidades distritales o provinciales. Sin embargo, muchos de estos proyectos no llegan a cumplir con los requisitos mínimos exigidos para su aprobación, lo que genera que los principales afectados sean los propios agricultores. Al no obtener la viabilidad de dichos proyectos, deben continuar con sus prácticas agrícolas tradicionales y con sistemas de riego poco eficientes, los cuales resultan insuficientes durante los meses de sequía (mayo – octubre). Esto ocasiona que parte de sus tierras quede en descanso y que se vean obligados a centrar su actividad únicamente en la campaña grande, temporada de lluvias.

Morales (2018), en el diseño de un sistema de riego por aspersión para las áreas verdes urbanas del parque zonal Huiracocha en San Juan de Lurigancho, Lima, señala

que la implementación de este método constituye una medida clave. El sistema permite optimizar el uso del agua al suministrar únicamente la cantidad requerida para cubrir la demanda hídrica de las especies, evitando tanto la escasez como el exceso del recurso. De este modo, no solo se protege la vegetación, sino que también se reducen los costos por consumos elevados y se contribuye a una mejor distribución del agua destinada a los sectores residencial, comercial e industrial de la ciudad.

En esta investigación, como muestra del cálculo de la lámina neta y la lámina bruta de riego, se presenta el siguiente cuadro de resultados:

Cuadro 1. Resultados de la lámina neta y la lámina bruta de riego

CC (%)	PM (%)	da (g/cc³)	DT (%)	Pr (cm)	Ln (mm)	Lb (mm)
18	8	1.58	40	20	12.64	15.80

De igual manera, en este trabajo de investigación se calcularon el intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego), según el siguiente detalle:

Cuadro 2. Intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego)

ETo (mm. día ⁻¹)	3.82
Precipitación efectiva (mm. día ⁻¹)	0.00
Kc grass	0.85
Etc. Grass (mm. día ⁻¹)	3.25
Lamina neta (mm. día ⁻¹)	12.64
Eficiencia de aplicación	0.80
Lamina bruta (mm. día ⁻¹)	15.80
Intervalo entre riegos (días)	3.89
Ir' ajustado (día)	3.00

El autor también manifiesta que cuando diseñó los tramos de la línea de tubería lateral, considerando el criterio de rango de velocidad permisible y la tolerancia de

presiones en el lateral (menor al 20 por ciento), tal como se muestra en el siguiente detalle:

Cuadro 3. Rango de velocidad permisible y la tolerancia de presiones en el lateral

Tramo	Q	Dn	Di	V	Long de tub equiv.	L acc	L tub	L Tot	Hf
(x-y)	(lt/s)	(pulg)	(mm)	(m/s)	Accesorios	(m)	(m)	(m)	(m)
1-A	0.75	1.00	29.40	1.10		0.00	11.0	11.0	0.58

Gonzales (2020), en su evaluación del comportamiento hidráulico del sistema de riego por aspersión mediante herramientas computacionales en Paras, Ayacucho, sostiene que a nivel internacional este tipo de sistemas ha tenido un desarrollo acelerado, expandiéndose con rapidez, especialmente en países desarrollados como Estados Unidos, Israel y varias naciones de Europa.

Programa de Riego Subregional – PSI (2009, como se citó en De la Cruz (2022), menciona que una de las principales causas de la baja productividad agrícola en la sierra y la costa del Perú es la persistencia de sistemas de riego tradicionales, como el riego por inundación y gravedad, los cuales ocasionan una considerable pérdida de agua. Además, agrega que el deficiente estado de conservación de los sistemas de riego, incluyendo canales de conducción, almacenamiento y distribución, también contribuye a dichas pérdidas.

MDSAT (2019). en el proyecto de Instalación del Servicio de Agua Para Riego con Represamiento de La Laguna Estanco en el Centro Poblado de Tactayoc, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia de Daniel Alcides Carrión – Pasco, señala que el calendario agrícola de la zona indica que la mayor parte de los cultivos se siembran entre los meses de abril/mayo, julio/agosto y noviembre/diciembre. Estas fechas de siembra o plantación influyen directamente en las fases del ciclo vegetativo, generando

variaciones en las necesidades hídricas de los cultivos de acuerdo con la estación del año. Durante la etapa de mayor desarrollo, la demanda de agua alcanza su punto máximo, por lo que resulta fundamental considerar la duración de cada fase del período vegetativo a fin de seleccionar el coeficiente de cultivo (K_c) apropiado.

Llique (2017), al llevar a cabo la calibración hidráulica y la programación del riego en el sistema por aspersión de los jardines de la UMALM, identificó que las investigaciones relacionadas con la simulación y ajuste de modelos de distribución de agua, especialmente para riego, se desarrollan mediante el uso de modelos matemáticos automatizados implementados en programas como WaterCAD, entre otros. Estas herramientas destacan por su rapidez de cálculo y por su capacidad de reducir al mínimo las diferencias entre los valores observados en el sistema y los generados en la simulación.

Monge (2018), en su investigación sobre diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión, afirma que como premisa al planteamiento hidráulico del riego por aspersión se recomienda que una velocidad máxima 2.5-3.0 m/s en tuberías principales y secundarias, y de 1.5-2.0 m/s en laterales o ramales, esto debido a las elevadas pérdidas de carga por rozamiento que se producen en los tubos de menor diámetro. Asimismo, cuando sugiere una velocidad mínima de circulación de 0.5 m/s, para evitar sedimentación en el interior de las conducciones. Asimismo, el autor considera que el caudal necesario de riego está determinado por producto de la superficie a regar y la dosis bruta, dividida por el producto de la jornada efectiva de riego y el intervalo máximo entre riegos. Precizando que si tuviéramos una disponibilidad de caudal superior al caudal necesario se podría regar la parcela de una vez, aunque lo más operativo lógicamente es dividir la parcela en sectores. Y en cuanto a la jornada efectiva de riego se debe tener en cuenta el sistema que se va a emplear

para regar; donde si por ejemplo se opta por sistemas de traslado manual de tuberías de riego, debemos de considerar este tiempo de traslado en los cálculos.

El autor también precisa que la precipitación del riego por aspersión no debe superar la capacidad de infiltración de agua en el suelo, esto con la finalidad que no se produzca encharcamiento ni escorrentía. De igual manera acota que la elección de los aspersores, marco y caudal del aspersor es a criterio del proyectista, teniendo en cuenta dos importantes consideraciones: que la pluviometría de la aspersión del sistema sea inferior a la permeabilidad de los suelos para evitar encharcamiento y pérdida de agua por escorrentía. Así mismo el autor al investigar el diseño agronómico en riegos agrícolas a presión, donde concluye que el caudal definitivo del sistema es el resultado de multiplicar el número total de aspersores por el caudal de cada aspersor. Precizando que el caudal definitivo obviamente debería ser menor que el caudal disponible. Finalmente, se sostiene que el solape se determina principalmente considerando la velocidad promedio del viento, ya que es el elemento que más afecta la uniformidad del riego por aspersión. Por ello, recomienda mantener una separación entre aspersores del 60 al 65% del diámetro efectivo de riego en marcos cuadrados o triangulares, cuando las velocidades medias del viento no superen los 3 m/s.

Navarro (2022), al realizar el diseño de línea de conducción de agua residual filtrada para riego mediante modelamiento con software Watercad en Sayhuapata, concluye en su trabajo de investigación, que de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones (RNE), la velocidad de flujo en tuberías de riego, debe fluctuar entre 0.6 m/s y 3.6 m/s.

Tarjuelo (2005), menciona que los ramales porta aspersores es la uniformidad en la distribución del caudal. La norma práctica, validada por la experiencia, establece que la diferencia en el caudal descargado por dos aspersores de un mismo ramal debe

ser menor al 10% respecto al caudal nominal. Dicha variación corresponde a la diferencia de presiones en el ramal, la cual no debe exceder el 20% de la presión nominal del aspersor.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Diseño Agronómico del riego

Para INIA (2020), el diseño agronómico tiene como finalidad establecer las necesidades hídricas de los cultivos, determinando la cantidad de agua requerida para su adecuado desarrollo, evitando tanto el déficit de humedad en el suelo como el estrés hídrico en la planta. Dichas necesidades están condicionadas por factores edafológicos (relacionados al suelo), meteorológicos (clima) y características propias del cultivo (genéticas y fisiológicas).

En este contexto, resulta indispensable evaluar la uniformidad de aplicación del sistema de riego en instalaciones ya existentes, o bien definir una uniformidad adecuada en el caso de nuevos proyectos.

De igual manera, es fundamental establecer la cantidad de agua o dosis a aplicar en el cultivo, considerando su estado fenológico, características genéticas y fisiológicas, así como las condiciones del suelo, el clima y la calidad del recurso hídrico disponible.

2.2.2. Necesidad de agua de los cultivos

Según el INIA (2020), las necesidades hídricas de los cultivos constituyen el punto de partida para el diseño hidráulico, ya que permiten definir los volúmenes o láminas de agua requeridos, así como la frecuencia y duración de los riegos. Estos aspectos se determinan considerando el estado fenológico de las plantas y la capacidad de retención de los suelos, además de la calidad del agua y de los factores ambientales, como el clima, que inciden tanto en la operación del sistema como en el diseño de la

infraestructura. En consecuencia, estas variables repercuten directamente en la productividad y rentabilidad de los cultivos.

2.2.3. La evapotranspiración potencial

Según Anten & Willet (2000), la evapotranspiración potencial de referencia (ETP), que corresponde al consumo hídrico de un cultivo de referencia como el pasto cultivado, está determinada por factores climáticos tales como la radiación solar, la temperatura promedio diaria, la humedad relativa y el viento, expresándose en milímetros por día (mm/día). En los Andes ecuatoriales, la altitud es el factor de mayor incidencia en los valores de ETP, debido a su estrecha relación con la temperatura media diaria.

Con base en estudios realizados en el valle de Cajamarca, se ha determinado una ETP entre 3,5 y 4 mm/día a 2750 msnm. De igual modo, aplicando las metodologías de Penman y Hargreaves, se obtiene para Cajamarca, a 2500 msnm, un valor cercano a 3,5 mm/día. Estos resultados permiten establecer, con un margen reducido de error, una relación entre la ETP y la altitud.

Valores estimados de ETP (condiciones de Cajamarca) en función de altura:

Cuadro 4. Valores estimados de ETP (condiciones de Cajamarca) en función de altura

Altura (msnm)	ETP (mm/día)
1 500	4.5
2 500	3.5
3 500	2.5

Para zonas intermedias habría que interpolar entre estos valores.

2.2.4. Coeficiente de Cultivo

Según Anten & Willet (2000), los coeficientes de cultivo (K_c) permiten calcular la cantidad de agua que necesita un cultivo en cada etapa de su ciclo vegetativo. Este coeficiente ajusta la evapotranspiración de referencia para cultivos distintos al pasto, considerando sus características particulares y fases de crecimiento.

En el diseño de sistemas de riego, generalmente se utiliza la etapa de mayor demanda de agua, con el fin de garantizar que el cultivo no sufra déficit hídrico. No obstante, en la práctica agrícola, cuando el agua es limitada y el desarrollo de los cultivos está condicionado por factores como la fertilidad del suelo, la calidad de las semillas o problemas fitosanitarios, se recomienda reducir ligeramente los valores de requerimiento hídrico sugeridos por las tablas de la FAO. En esos casos, resulta útil emplear el requerimiento promedio de agua durante todo el ciclo del cultivo para estimar su consumo en las parcelas. El cuadro siguiente presenta el coeficiente K_c promedio para algunos cultivos.

Valores de coeficiente de cultivo promedio K_c :

Cuadro 5. Valores de coeficiente de cultivo promedio K_c

Cultivo	K_c	Cultivo	K_c
Alfalfa	0.90	Frijol verde	0.75
Alverja	0.89	Lechuga	0.70
Avena	0.80	Lenteja	0.79
Berenjena	0.82	Maíz dulce	0.88
Caña de azúcar	0.95	Maíz grana	0.83
Cebada	0.80	Papa	0.83
Cebolla seca	0.90	Pasto	1.00
Cebolla verde	0.74	Pimiento	0.83
Col	0.86	Rábano	0.73
Espinaca	0.73	Trébol	1.00
Frijol seco	0.87	Trigo	0.80
		Zanahoria	0.84

Para un plan de cultivo con varios cultivos a la vez se tiene que estimar el consumo total de las parcelas con el porcentaje de cubrimiento que tiene cada cultivo:

Cuadro 6 Consumo total de las parcelas con el porcentaje de cubrimiento que tiene cada cultivo

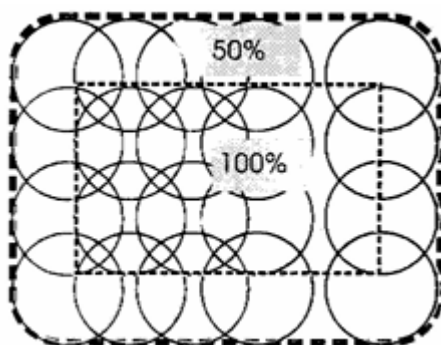
Ejemplo: una parcela con 40% alfalfa y 60 % papa tendrá un coeficiente de cultivo total de $0,4 \times K_c \text{ alfalfa} + 0,6 \times K_c \text{ papa}$: $K_{c, \text{promedio}} = 0,4 \times 0,9 + 0,6 \times 0,83 = 0,86$

2.2.5. Eficiencia de riego

Anten & Willet (2000) señalan que la eficiencia de un sistema de riego por aspersión se evalúa considerando principalmente las pérdidas de agua que ocurren en la parcela, dado que el uso de tuberías desde la fuente reduce considerablemente las pérdidas en la conducción. En condiciones óptimas, la eficiencia suele alcanzar alrededor del 75%. No obstante, esta puede disminuir bajo determinadas circunstancias:

- **Presión:** Una eficiencia cercana al 75% se logra cuando existe un adecuado espaciamiento entre aspersores, un tendido correcto de las líneas y presiones de trabajo entre 20 y 30 metros de columna de agua. Presiones menores provocan una distribución irregular del agua y, por tanto, una reducción en la eficiencia. Cuando los aspersores operan con presiones entre 1 y 1,5 bar, situación que se presenta en áreas con desniveles insuficientes entre la fuente y la parcela, la eficiencia se reduce a valores de 65% a 70%.
- **Efectos de borde:** En áreas reducidas con aspersores de gran alcance, se pierde agua en las franjas externas, que suelen recibir menos riego que el resto de la parcela (ver Figura adjunta). Este problema puede corregirse utilizando aspersores sectoriales, equipos de menor radio de acción o sembrando en esos bordes cultivos que toleren déficit hídrico y aprovechen mejor el agua residual.

Figura 1. Franja exterior con menor intensidad de riego en una parcela de riego por aspersión



- Viento: El viento constituye un factor determinante en la eficiencia del riego por aspersión, ya que provoca la dispersión de gotas fuera de la parcela, reduciendo así la uniformidad del riego. Este problema se intensifica cuando se utilizan aspersores con boquillas pequeñas (entre 1 y 3 mm) o cuando trabajan con presiones elevadas, lo que incrementa la pulverización del agua. Además, el ángulo de salida de la boquilla y la altura de los elevadores también influyen: ángulos grandes y mayor elevación generan chorros más expuestos al viento.

Para mitigar estos efectos se recomienda: 1) seleccionar aspersores con boquillas de mayor diámetro ($\geq 2,4$ mm) y ángulos reducidos ($\leq 20^\circ$); 2) controlar los diámetros de las tuberías de presión para evitar presiones dinámicas excesivas en los hidrantes; 3) instalar elevadores a la menor altura posible; 4) prever capacidad de almacenamiento en las cámaras de carga para interrumpir el riego durante las horas más ventosas; 5) reducir la distancia entre aspersores de menor alcance; y 6) colocar barreras cortaviento. Si estas medidas no se aplican, la eficiencia puede disminuir significativamente respecto a los valores de referencia del riego por aspersión.

2.2.6. Diseño hidráulico de riego

Según el INIA (2020), el diseño hidráulico integra y sincroniza el conjunto de dispositivos y accesorios del sistema de riego, con el fin de trasladar una determinada

cantidad de agua hacia el área destinada al cultivo, minimizando pérdidas y maximizando la eficiencia desde la captación, conducción, distribución y aplicación.

En función de las necesidades hídricas de los cultivos, se calculan las dimensiones de las redes de tuberías, determinando diámetros, longitudes y presiones, tanto en las líneas principales, secundarias, portalaterales y laterales. Asimismo, se consideran las pérdidas de carga, las tolerancias de presión y caudal en las subunidades de riego, para finalmente establecer los requerimientos totales de presión del sistema.

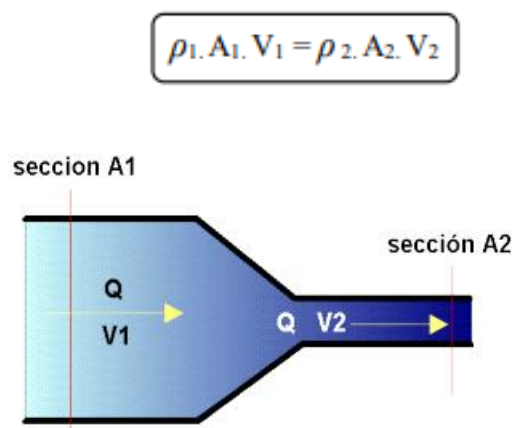
2.2.7. Ecuación de Continuidad

El cálculo de la velocidad de un fluido en tuberías se basa en el principio de continuidad, el cual establece que el caudal que entra en un sistema cerrado debe ser igual al que sale. Dicho de otra forma, el agua que atraviesa una sección de la tubería en un tiempo determinado será exactamente la misma que cruza por otra sección más adelante, siempre que no existan pérdidas ni aportes adicionales en el trayecto. Así, la masa que fluye por una primera sección (A_1) debe coincidir con la que pasa por la segunda (A_2). Esto se expresa en términos del flujo másico así:

$$M_1 = M_2$$

Debido a que $M = \rho \cdot A \cdot V$, tenemos la ecuación de continuidad para cualquier fluido (Mott, 2006):

Figura 2. Ecuación de continuidad para cualquier fluido



La ecuación presentada corresponde al principio de continuidad y recibe el nombre de ecuación de continuidad. Su aplicación permite relacionar la densidad del fluido, el área de la sección de flujo y la velocidad en dos puntos de un sistema con flujo estable. Este principio es válido tanto para líquidos como para gases. En el caso de que el fluido que circula en el tubo de la figura N°3 sea un líquido incompresible, los términos p_1 y p_2 de la ecuación 9 resultan iguales, simplificándose así a la ecuación de continuidad específica para líquidos.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Debido a que $Q = A \cdot V$, tenemos:

$$Q_1 = Q_2$$

Donde:

Q = Caudal (m^3 / s)

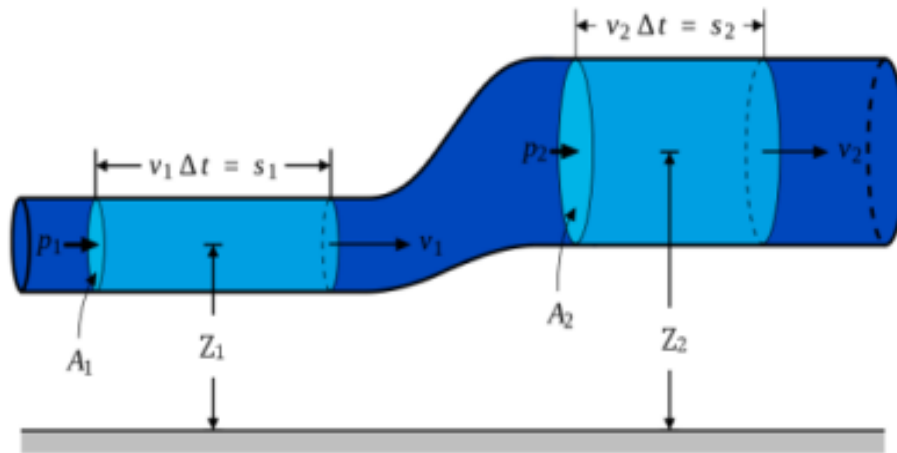
V = Velocidad media de la sección (m/s)

A = Área de la sección de la tubería (m^2)

2.2.8. Ecuación de Bernoulli

El estudio de un problema de tuberías, como el que se muestra en la figura siguiente, considera toda la energía presente en el sistema. En física sabemos que la energía no se crea ni se destruye, sino que únicamente cambia de una forma a otra. Este principio corresponde a la ley de conservación de la energía (Mott, 2006).

Figura 3. Principio de la ecuación de Bernoulli



En el estudio de un problema de flujo en tuberías, se reconocen tres formas principales de energía que deben ser consideradas. Para ello, se analiza un elemento de fluido, tal como se muestra en la figura anterior, el cual se encuentra dentro de una tubería en un sistema de flujo. Este elemento está situado a una elevación z , con velocidad v y presión p . El elemento del fluido posee las siguientes formas de energía.

$$E = E_c + E_p + E_f$$

$$E = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z$$

Donde:

E = Energía Total

E_c = Energía Cinética. Debido a su velocidad.

E_p = Energía Potencial. Debido a su posición.

E_f = Energía del flujo. Debido a su presión.

2.2.9. Fórmula de Hazen y Williams

Para el análisis y diseño de sistemas hidráulicos con flujo de agua en tuberías, la fórmula de Hazen-Williams se ha consolidado como una de las más reconocidas (Mott, 2006).

Esta fórmula está definida de manera particular según las unidades empleadas. En el sistema tradicional de Estados Unidos se expresa de la siguiente manera:

$$v = 1.32 \cdot C_h \cdot R^{0.63} s^{0.54}$$

Donde:

v =Velocidad promedio del Flujo (pies/s) ó (m/s)

C_h =Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

R =Radio hidráulico del conducto de flujo (pies) ó (m)

s =Relación h_L/L : pérdida de energía/longitud del conducto (pies/pies)

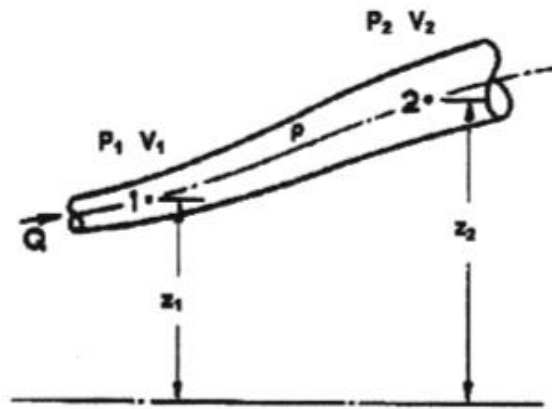
2.2.10. Pérdida de carga

Mott (2006) señala que, cuando el fluido no presenta un comportamiento ideal, se produce una pérdida de energía, también conocida como pérdida de carga, a lo largo de su desplazamiento. Supongamos que a través del conducto de la figura siguiente hay un flujo no ideal. Aplicando la ecuación de conservación de la energía mecánica entre las secciones 1 y 2 se deduce que:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h(1-2)$$

Donde $\Delta h(1-2)$ es la denominada pérdida de carga entre las secciones 1 y 2, expresada en este caso en unidades de longitud (alturas).

Figura 3. Pérdida de carga entre las secciones 1 y 2



2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Componentes de un sistema de riego por aspersión

Según, Anten & Willet (2000), considera que un sistema de riego por aspersión típico está conformado por los siguientes componentes:

Captación

Podemos captar agua de manantiales (caudales de 0,2 litros/segundo o mayores), quebradas o canales de riego. En este último caso, es necesario asegurar la aceptación del comité de regantes para asignar un caudal continuo al sector de riego a presurizar, además de ubicar el proyecto de riego por aspersión en la parte de la canal más cercana a la bocatoma, garantizando así un caudal (semi) permanente hacia el módulo de riego.

Línea de conducción

Se trata del segmento de canal que conecta la captación con el primer tanque de distribución. Puede construirse como canal abierto, ya sea de tierra o de concreto, o mediante tubería. La opción de conducción entubada es generalmente más recomendable, ya que evita que los sedimentos ingresen a los sectores de riego.

Tanques de repartición

Se trata de estructuras diseñadas para repartir el caudal del sistema en varios flujos continuos de manera proporcional, según las superficies de riego de cada sector abastecido por estos tanques. Para lograr esta distribución proporcional se emplean vertederos en el caso de caudales mayores y orificios para caudales menores.

Red de distribución

Se trata de los canales, ya sean abiertos o entubados, que conducen el caudal del sistema hacia los distintos sectores de riego. En sistemas con tuberías, pueden incorporarse obras complementarias como sifones, válvulas de limpieza y de desfogue, cámaras de ruptura de presión, entre otras. La capacidad de estos canales o conducciones disminuye a medida que el caudal del sistema se distribuye entre los diferentes sectores.

Hidrantes

Los hidrantes son los puntos de conexión de una línea de riego móvil dentro de las parcelas a regar. Están equipados con una válvula y un acople rápido para la manguera. Si se colocan en posiciones estratégicas, un hidrante puede abastecer distintas zonas de la parcela. Estos hidrantes se interconectan entre sí y con la cámara de carga mediante tuberías enterradas.

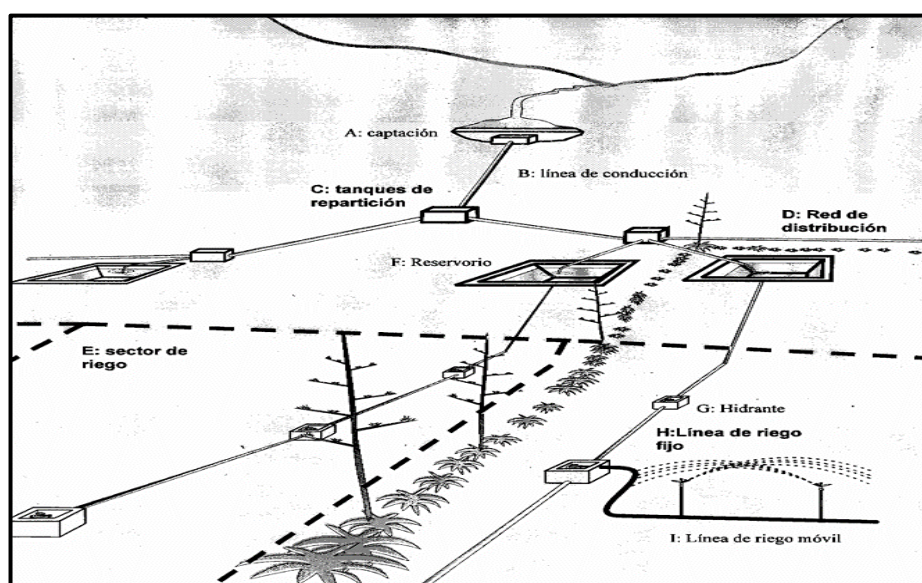
Línea de riego fijo

La línea de riego fijo se encarga de distribuir el agua a lo largo de todo el sector de riego, suministrando el caudal a las líneas de riego móviles a través de los hidrantes de manera presurizada. Está compuesta por tuberías de PVC enterradas, cuyos diámetros se calculan de forma que cada hidrante reciba la presión necesaria para operar los aspersores. En determinados casos, será necesario instalar cámaras rompe-presión.

Línea de riego móvil

La línea de riego móvil está compuesta por una manguera con aspersores instalados sobre ella. Se conecta a los hidrantes para irrigar, de manera rotativa, todo el sector de riego. Cuando el sector abarca varias propiedades, la línea de riego móvil se comparte entre los usuarios del área.

Figura 4 Componentes de un sistema de riego por aspersión



2.3.2. Demanda de agua de la parcela y del sistema de riego

Según Anten & Willet (2000), a partir de la información de los capítulos previos, es posible calcular la demanda de agua tanto a nivel de parcela como del sistema completo. La demanda de agua de una parcela con un cultivo específico se expresa como:

$$Ln = ETP \times Kc$$

Donde:

Ln: Lamina neta (mm/día)

ET: Evapotranspiración potencia referencias (mm/día)

Kc: Coeficiente de cultivo promedio de las plantas

L_n representa la demanda neta de agua del cultivo. Para determinar la cantidad de agua que debe suministrarse a la parcela mediante el sistema de riego, es decir, la demanda bruta, se divide la demanda neta entre la eficiencia del sistema de riego, obteniéndose de este modo:

$$L_b = \frac{L_n \times 100}{\text{Eff}}$$

Donde:

L_b : Lamina bruta (mm/día)

Eff: Eficiencia del sistema (%)

2.3.3. Módulo de riego

De acuerdo con Anten & Willet (2000), el cálculo del módulo de riego se realiza considerando el siguiente razonamiento: una lámina de agua de 1 mm por día aplicada en 1 hectárea corresponde a un volumen de agua equivalente a:

$$0.001\text{m/día} \times 100\text{m} \times 100\text{m} = 10 \text{ m}^3/\text{día} = 10\,000 \text{ litros/día}$$

$$1 \text{ día (24 Horas) tiene: } 24 \times 60 \times 60 = 86\,400 \text{ segundos}$$

Por hectárea, 10 000/día equivalen a:

$$\frac{10\,000}{86\,400} = 0.116 \text{ litros/segundo}$$

Entonces, una dotación de 1 mm/día equivale a un caudal fijo de 0,116 litros/seg./ha. El módulo de riego de una parcela (M_r) está dado por:

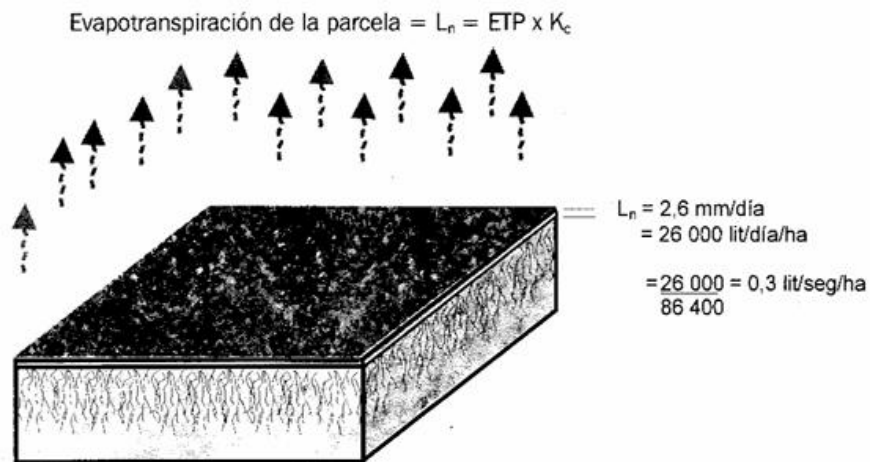
$$M_r = \frac{L_b \times 10\,000}{86\,400} \text{ (litros/segundo/hectárea)}$$

Donde:

M_r : Módulo de riego

L_b : Lámina bruta

Figura 5. Módulo de riego de una parcela



2.3.4. Caudal de diseño del sistema de riego

Según Anten & Willet (2000), en las zonas altoandinas a las que se dirige esta guía, el agua es un recurso limitado y generalmente se encuentra en pequeñas fuentes o manantiales, ríos y quebradas. En áreas donde no existen nevados que alimenten las fuentes naturales, los caudales presentan fuertes variaciones entre la temporada de lluvias y la época de estiaje. La extensión de las áreas regables depende en gran medida del flujo base, es decir, el caudal que se mantiene tras varios meses sin recarga de los acuíferos. Un indicador de la capacidad de una fuente para abastecer determinada área de riego es su caudal durante el estiaje (agosto a noviembre). Es fundamental analizar los otros usos de cada fuente, además del riego, considerar el plan de cultivos de los agricultores y evaluar cómo la programación de los cultivos se relaciona con la disponibilidad de agua en diferentes épocas del año.

Durante mayo/junio, al finalizar las lluvias y comenzar la campaña de riego, los caudales todavía son altos. Entre agosto y septiembre, los caudales alcanzan su mínimo, limitando así la superficie regable. De octubre a febrero se desarrolla la campaña principal con agua de lluvia, aplicando riego suplementario solo cuando las

precipitaciones son escasas (veranillos). Para sistemas de riego por aspersión alimentados por fuentes con fuerte fluctuación, se puede considerar como caudal de diseño los medidos poco después de finalizar las lluvias (junio-julio en Cajamarca) o multiplicar entre 1,2 y 1,3 veces los caudales mínimos de estiaje. Esto permite aprovechar la mayor disponibilidad de agua en mayo-julio y durante los veranillos, evitando sobredimensionar el sistema, lo que incrementaría los costos y podría resultar en infraestructura sub-abastecida. Es importante recordar que al inicio del estiaje la demanda de agua no es intensa, por lo que la decisión sobre el dimensionamiento según el caudal mínimo de estiaje debe tomarse en diálogo con los beneficiarios, considerando el uso del agua y los costos durante el año.

2.3.5. Área total regable

Anten & Willet (2000), precisa que el área regable del sistema está dada por:

$$A = \frac{Q}{Mr} \cdot (Ha)$$

Donde:

A: Área regable (Ha)

Q: Caudal (l/s)

Mr: Módulo de riego (l/s/ha)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El diseño de la red del sistema de riego por aspersión si se encuentra asociado a la demanda hídrica y los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión para cultivo de papa nativa.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El diseño agronómico del riego por aspersión si se encuentra asociado a la demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa.
- El diseño hidráulico del riego por aspersión si se encuentra asociado a los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables Independientes

Las variables independientes en el trabajo de investigación son:

- Características físicas de la parcela agrícola.
- Uso Consuntivo del cultivo de papa nativa.

2.5.2. Variables Dependientes

Las variables dependientes en el trabajo de investigación son:

- Demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa.
- Tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Cuadro 7. Variables e indicadores

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTES:				
- Características físicas de la parcela agrícola.	Fisiografía del terreno	Tamaño, relieve y suelo	m ² , % de pendiente, %m CC y %m PMP	Formato de información bibliográfica
- Uso Consuntivo del cultivo de papa nativa.	Fisiología el cultivo.	Evapotranspiración del cultivo	Milímetros/día	Formato de información bibliográfica
DEPENDIENTES:				
- Demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa.	Requerimiento hídrico.	Caudal hídrico	Litros/segundo	Fórmulas empíricas
- Tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión.	Sección hidráulica.	Diámetro de la tubería	Pulgadas	Fórmulas empíricas

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación es de tipo cuantitativa aplicada.

3.2. Nivel de investigación

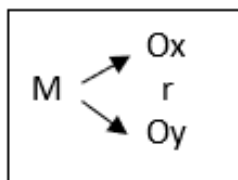
El trabajo de investigación es de nivel descriptivo relacional.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación utilizado en la investigación es la observación cuantitativa.

3.4. Diseño de investigación

El presente proyecto de investigación es de diseño no experimental descriptivo relacional, y tiene el siguiente diagrama:



Donde:

M = Muestra de investigación.

O = Observaciones.

r = Relación existente entre dos variables.

x, y = Sub índices de relación.

3.5. Población y muestra

La población y muestra se detalla a continuación:

- a. Población (N):** 120.0 Ha de extensión agrícola de papa de la comunidad de Tactayoc (Proyecto de Inversión "Instalación del servicio de agua para riego con represamiento de la laguna estanco en el centro poblado de Tactayoc, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia de Daniel Alcides Carrión - Pasco").
- b. Muestra (n):** 1.30 Ha de extensión agrícola de papa de la comunidad de Tactayoc.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Análisis documentario:

- Se buscó, se revisó y se analizó la información bibliográfica acerca de la fuente hídrica, de la ubicación, forma y tamaño de la parcela agrícola de la comunidad de Tactayoc. Asimismo, se analizó la información respecto al sistema de riego, del clima y meteorología, del cultivo, del suelo, y otros relacionados con el diseño integral de riego.
- Habiendo analizado la información encontrada, se recolectó y se clasificó en formatos adecuados para la formulación del diseño agronómico y diseño hidráulico del riego.
- De acuerdo al formulario pertinente encontrada en la bibliografía, se realizaron los cálculos correspondientes para el diseño agronómico y el diseño hidráulico, realizándolo en forma ordenada y secuencial. Estos cálculos se realizaron en hojas de cálculo del software Excel.

3.6.2. Instrumentos

- a. Material bibliográfico sobre la extensión agrícola, el cultivo y el riego.
- b. Formatos de recolección de datos para diseño agronómico e hidráulico del riego.
- c. Formularios de diseño agronómico e hidráulico del riego.

Gráfico 1. Extensión agrícola de investigación - Comunidad de Tactayoc

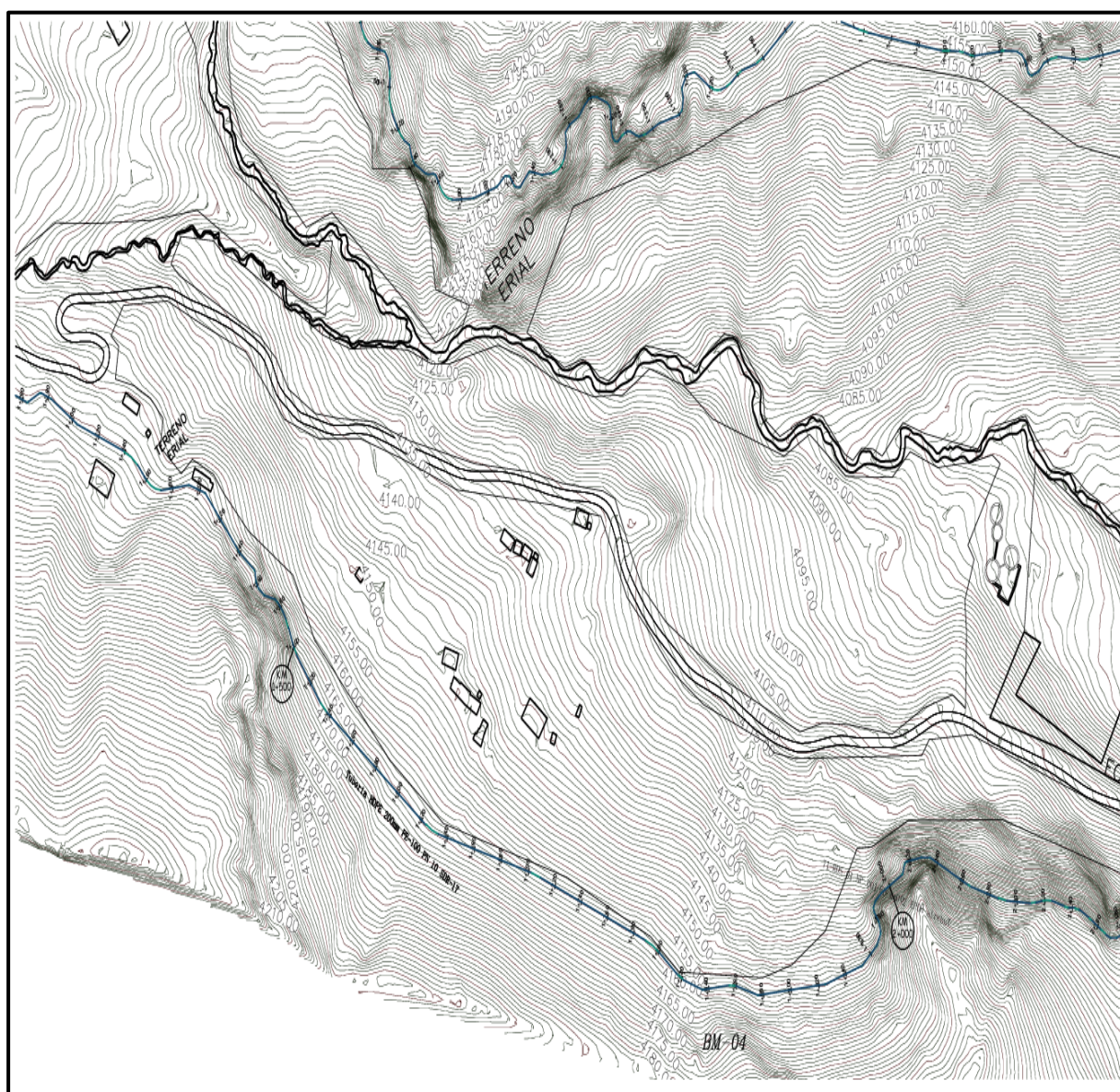


Gráfico 2. Formato de información bibliográfica para diseño agronómico e hidráulico

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS		Ha
A	Diseño Agronómico-Hidráulico	1 Hoja de Datos
PROYECTO:		
UBICACIÓN DEL PROYECTO:		
- Lugar : - Localidad : - Distrito : - Provincia : - Región : SISTEMA DE RIEGO: - Método : - Cultivo : - Área : - Lugar : - Sector :		
I. DE LA FUENTE HIDRICA • Q_d (Caudal de Distribución) l/s • Disponibilidad II. DE LA PARCELA • Área Bruta (disponible) Ha • Área Neta (bajo riego) Ha • Largo m • Ancho m • Pendiente del Largo (Crítica) % OJO III. DEL SISTEMA DE RIEGO • Método • E_f (Eficiencia de Riego del Sistema) % • S_i (Espaciamiento entre Laterales) m • S_a (Espaciamiento entre Aspersores) m • Modelo del Aspersor (Catálogo) • P_a (Presión de Operación del Aspersor) m • Q_a (Caudal del Aspersor) l/Hr l/s • ϕ_a (Diámetro Humedecimiento Aspersor) m • Ángulo de Cobertura del Aspersor grados • H_e (Altura de Elevación del Aspersor) m • I_a (Intensidad de Aplicación) mm/Hr • Diámetro de Boquilla del Aspersor mm • $T_{o\ max}$ (Tiempo Máximo de Riego por Día) Hr • I_m (Intensidad Mínima de Aplicación) mm/Hr IV. DEL CLIMA • E_{To} (Evapotranspiración Potencial) mm/día • V_v (Velocidad del Viento) Km/Hr m/s V. DEL CULTIVO • Nombre OJO • Fase (de Máximo Consumo Hídrico) OJO • K_c (Coeficiente de Cultivo - máximo) OJO • P_r (Profundidad de Radicular) m mm • p (% de Agotamiento) % VI. DEL SUELO • Textura • θ_{cc} (Humedad de Capacidad de Campo) % m • θ_{pm} (Humedad de Punto de Marchitez) % m • D_{ap} (Densidad Aparente) g/cm³ • I_b (Infiltración Básica) mm/Hr	(Q_d) l/s (S_a) (ϕ_a) 	

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- a. Recolección** de información de la fuente bibliográfica, respecto a la fuente hídrica, la parcela, al sistema de riego, al clima y meteorología, al cultivo, del suelo y la configuración topográfica de la zona.
- b. Clasificación** de la información. Se ordenó y se agrupó de acuerdo a:
 - Fuente hídrica
 - Sistema de riego
 - Clima y meteorología
 - Cultivo
 - Suelo
 - Topografía del terreno.
- c. El procesamiento y análisis de los datos** se realizaron después de la recolección de datos, mostrándolo en un formato didáctico. Estos datos se procesarán analíticamente, usando fórmulas empíricas para el cálculo del diseño agronómico y diseño hidráulico del riego por aspersión de la parcela agrícola materia de investigación. Se presentó los resultados, buscando la explicación analítica de la naturaleza del diseño.

3.8. Tratamiento estadístico

Se presentaron los cuadros resumen de los resultados del diseño agronómico y diseño hidráulico, es decir de los requerimientos hídricos y los tamaños hidráulicos de las secciones de los conductos de los distintos tipos módulos de riego, respectivamente.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La ética debe integrarse en todas las fases de la investigación, desde la planificación y ejecución hasta la evaluación del proyecto.

Antes de diseñar un estudio, es fundamental considerar los posibles costos y beneficios que este puede generar.

A lo largo de nuestra vida, solemos evaluar los costos y beneficios de la mayoría de nuestras decisiones, incluso sin ser plenamente conscientes de ello.

El proyecto no busca modificar sus conclusiones en función de la fuente de financiamiento.

Asimismo, el proyecto evita cualquier forma de fraude científico, falsificación de datos o conducta científica inapropiada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de investigación consistió en evaluar el diseño de una red de riego por aspersión para una extensión 1.30 Ha de para nativa, realizado en la comunidad campesina de Tactayoc. El diseño de la red de riego por aspersión se compuso de dos tipos de diseño: el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

El diseño agronómico consistió fundamentalmente que, en base al uso consuntivo y la eficiencia del sistema de riego por aspersión, se determinó el caudal de la capacidad instalada de la red de riego por aspersión. Esto es considerando las especificaciones técnicas del tipo de aspersor seleccionado.

El diseño hidráulico consistió fundamentalmente que, en base a los caudales emitidos por el sistema para cada sector de riego, se determinó los diámetros de las tuberías de distribución (línea fija) y de la tubería de aplicación (línea lateral móvil), así como las presiones finales al término de cada tramo crítico de las tuberías.

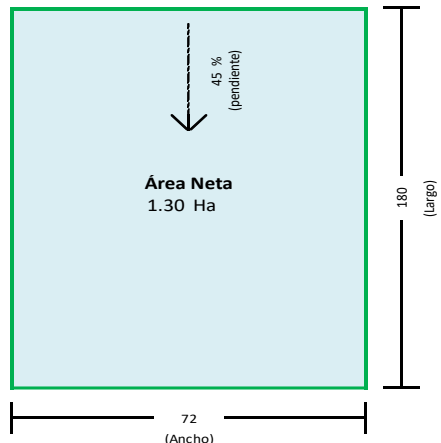
El Grafico 3 muestra la información de campo requerida tanto para el diseño agronómico y para el diseño hidráulico de la red de riego por aspersión de 1.30 Ha de papa nativa.

Gráfico 3. Información de campo para el diseño agronómico y el diseño hidráulico del riego por aspersión

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN 1.30 Ha			
A	Diseño Agronómico-Hidráulico	1	Hoja de Datos de Campo
PROYECTO: "Diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa, en la localidad de Tactayoc, Pasco – 2024"			
UBICACIÓN DEL PROYECTO:		SISTEMA DE RIEGO:	
- Localidad : Tactayog		- Método : Aspersión	
- Distrito : Santa Ana de Tusi		- Cultivo : papa nativa	
- Provincia : Daniel Alcides Carrión		- Área : 1.30 Ha	
- Región : Pasco		- Sector : Tactayog	

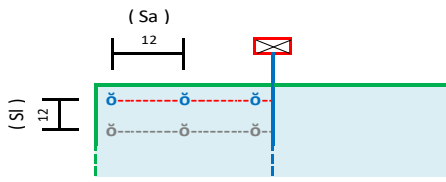
I. DE LA FUENTE HÍDRICA	
• Qd (Caudal de Distribución)	> 0.90 l/s
• Disponibilidad	siempre
II. DE LA PARCELA	
• Área Bruta (disponible)	1.30 Ha
• Área Neta (bajo riego)	1.30 Ha
• Largo	180.0 m
• Ancho	72.0 m
• Pendiente del Largo (Crítica)	45.0 %
III. DEL SISTEMA DE RIEGO	
• Método	Aspersión
• Ef (Eficiencia de Riego del Sistema)	70.0 % 0.70
• Si (Espaciamiento entre Laterales)	12.0 m
• Sa (Espaciamiento entre Aspersores)	12.0 m
• Modelo del Aspersor (Catálogo)	VVR 16
• Pa (Presión de Operación del Aspersor)	25.0 m
• Qa (Caudal del Aspersor)	219.00 l/Hr 0.061 l/s
• Øa (Diámetro Humedecimiento Aspersor)	22.0 m
• Ángulo de Cobertura del Aspersor	360.0 grados
• He (Altura de Elevación del Aspersor)	1.5 m
• Ia (Intensidad de Aplicación)	1.52 mm/Hr
• Diámetro de Boquilla del Aspersor	2.00 mm
• To máx (Tiempo Máximo de Riego por Día)	22.0 Hr
• Im (Intensidad Mínima de Aplicación)	0.5 mm/Hr
IV. DEL CLIMA	
• ETo (Evapotranspiración Potencial)	2.50 mm/día
• Vv (Velocidad del Viento)	11.00 Km/Hr 3.06 m/s
V. DEL CULTIVO	
• Nombre	papa nativa
• Fase (de Máximo Consumo Hídrico)	mediados
• Kc (Coeficiente de Cultivo - máximo)	1.0
• Pr (Profundidad de Radicular - promedio)	0.5 m 500 mm
• p (% de Agotamiento)	50.0 % 0.50
VI. DEL SUELO	
• Textura	Franco
• Øcc (Humedad de Capacidad de Campo)	7.0 % m
• Øbm (Humedad de Punto de Marchitez)	4.0 % m
• Dap (Densidad Aparente)	1.43 g/cm³
• Ib (Infiltración Básica)	6.5 mm/Hr

(Qd)
> 0.90 l/s

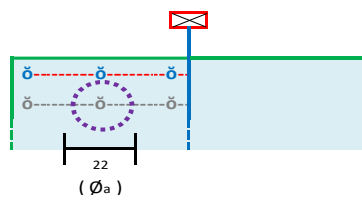


(Sa)
12

(Si)
12



(Øa)
22



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Primera Etapa del Diseño Agronómico del Riego por Aspersión

La primera etapa del diseño agronómico de la red de riego por aspersión, consistió en determinar la demanda hídrica preliminar de una extensión de 1.30 Ha de papa nativa, irrigado con el sistema de una red de riego por aspersión, expresado como caudal de riego.

Gráfico 4. Cálculos del turno de riego, del N° de laterales y del caudal preliminar del sistema

PASO	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA CÁLCULO	RESULTADO	GRÁFICOS DE APOYO
1	UC USO CONSUNTIVO (mm/día)	$UC = ETo \times Kc$ $UC = 2.50 \times 1.00 = 2.50$	2.50	
2	Ln LÁMINA NETA (mm)	$Ln = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{pm})}{100} \times Pr \times Dap \times q$ $Ln = \frac{(7.0 - 4.0)}{100} \times 500 \times 1.4 \times 0.5$	10.73	
3	Fr FRECUENCIA DE RIEGO (días)	$Fr = \frac{Ln}{UC}$ $Fr = \frac{10.73}{2.50} = 4$	4	
4	Tr TURNO DE RIEGO (días)	$Paro = ? \quad Tr = Fr - Paro$ $Paro = 1 \quad Tr = 4 - 1 = 3$	3	
5	NÚMERO DE LATERALES (N°)	5.1 $Recorrido \text{ del Lateral (m)} = 2 \times \text{Largo}$ $Recorrido \text{ del Lateral (m)} = 2 \times 180 = 360$ 5.2 $N^\circ \text{ de Posiciones} = \frac{Recorrido \text{ Lateral}}{Sl}$ $N^\circ \text{ de Posiciones} = \frac{360}{12.00} = 30$ 5.3 $N^\circ \text{ Posiciones/día} = \frac{N^\circ \text{ de Posiciones}}{Tr}$ $N^\circ \text{ de Posiciones/día} = \frac{30}{3} = 10$ 5.4 $Posic./día = ? \quad N^\circ \text{ Lat.} = \frac{N^\circ \text{ Posic./día}}{Posic./día}$ $Posic./día = 2 \quad N^\circ \text{ Lat.} = \frac{10}{2} = 5$	5	
6	DISPOSICIÓN DE LOS LATERALES (m)	$Disposic. \text{ de Lat.} = \frac{Recorrido \text{ del Lat.}}{N^\circ \text{ Laterales}}$ $Disposic. \text{ de Lat.} = \frac{360}{5} = 72$	72	
7	Qs CAUDAL DEL SISTEMA (l/s)	$Qs = \frac{2.78 \times A \times Ln}{Tr \times To \text{ máx} \times Ef}$ $Qs = \frac{2.78 \times 1.3 \times 10.7}{3 \times 21 \times 0.70} = 0.88$	0.88	

En el Gráfico 4 se muestran los pasos para el cálculo del Turno de Riego, del Número de Laterales y el Caudal del Sistema.

El Turno de Riego se calculó en función de la Lámina Neta, el Uso Consuntivo y el día de paro de riego; teniendo como resultado un turno de 3 días.

El Número de Laterales se calculó en función del recorrido del lateral, el número de posiciones y las posiciones por día; teniendo como resultado un número de 5 laterales.

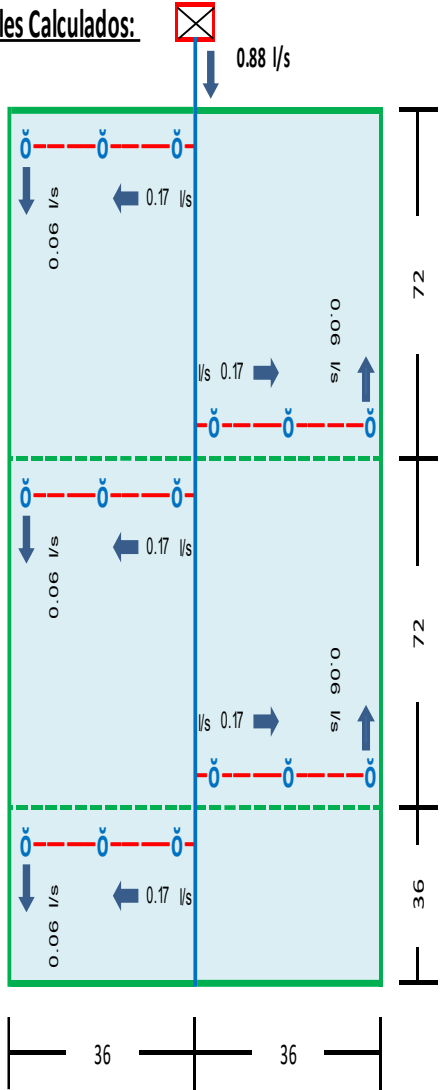
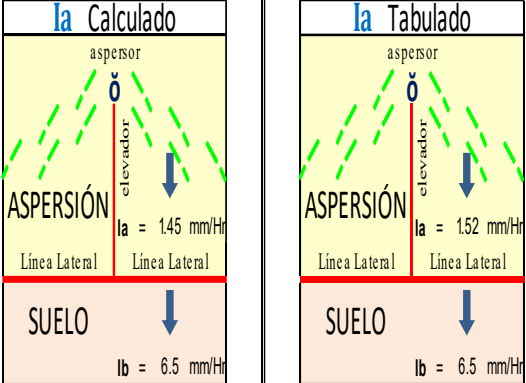
El Caudal preliminar del Sistema de la red de riego por aspersión, se calculó en función del área agrícola, la Lámina Neta, el Turno de Riego, Tiempo de Operación máximo y la Eficiencia de Riego; teniendo como resultado un caudal de 0.88 l/s.

4.2.2. Segunda Etapa del Diseño Agronómico del Riego por Aspersión

La segunda etapa del diseño agronómico de la red de riego por aspersión consistió en determinar la demanda hídrica definitiva, ajustada a la capacidad instalada del sistema de la red de riego por aspersión para irrigar una extensión de 1.30 Ha de papa nativa, que utilizaron los aspersores seleccionados. Esto según el caudal, el diámetro de riego y sobre todo la intensidad de aplicación permisible para el área de influencia de riego del aspersor.

Las comprobaciones de las intensidades de aplicación calculada y tabulada fueron determinantes para la selección del aspersor adecuado.

Gráfico 5. Cálculo del caudal del aspersor y la comprobación de la intensidad de aplicación

PASO	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	RESULTADO	GRÁFICOS DE APOYO	
		CÁLCULO			
8	Qa CAUDAL DEL ASPERSOR (l/s)	8.1 $N^{\circ} \text{ Asp. / Lateral} = \frac{\text{Long. Lateral}}{Ea}$	0.058	Caudales Calculados: 	
		$N^{\circ} \text{ Asp. / Lateral} = \frac{36}{12.00} = 3$			
		8.2 $N^{\circ} \text{ Asp. Total} = N^{\circ} \text{ Asp. / Lat.} \times N^{\circ} \text{ Lat.}$			
		$N^{\circ} \text{ Asp. Total} = 3 \times 5 = 15$			
		8.3 $Qa = \frac{Qs}{N^{\circ} \text{ Asp. Total}}$			
		$Qa = \frac{0.88}{15} = 0.058$			
9	Ia INTENSIDAD DE APLICACIÓN (mm/Hr)	9.1 $\text{Área del Aspersor} = Sl \times Sa$	1.45		
		$\text{Área del Aspersor (m}^2\text{)} = 12 \times 12 = 144$			
		9.2 $Ia = 3600 \times \frac{Qa}{\text{Área Aspersor}}$			
		$Ia = 3600 \times \frac{0.058}{144} = 1.45$			
10	COMPROBACIÓN Ia CALCULADO	SI CUMPLE : $I_m < I_a < I_b \rightarrow OK$, FALSO	OK OK		
		SI CUMPLE : $\left\{ \begin{array}{l} \frac{(I_m)}{0.50} < \frac{(I_a)}{1.45} \\ \frac{(I_a)}{1.45} < \frac{(I_b)}{6.50} \end{array} \right.$			
11	SELECCIÓN DEL ASPERSOR	Calculado (según lo requerido) - Qa = 0.058 l/s - Ia = 1.450 mm/Hr - Sl x Sa = 12x12 m x m Tabulado (según el catálogo) - Qa = 0.061 l/s - Ia = 1.52 mm/Hr - Øa = 22.0 m - Pa = 25.0 m - Boq. = 2.0 mm	De la Tabla se escoge el aspersor cubra lo requerido: VYR 16		
12	COMPROBACIÓN Ia TABULADO	SI CUMPLE: $To < Tomax/2 \wedge Ia < Ib \rightarrow OK$, FALSO	OK OK	Ia Calculado 	
		SI : $L_b \text{ (mm)} = \frac{L_n}{E_f} = \frac{10.7}{0.70} = 15.3$			
		$To = \frac{L_b}{I_a} = \frac{15.3}{1.52} = 10.06 < 11$			
		$I_a < I_b \ggggg 1.52 < 6.5$			

En el Gráfico 5 se muestra el cálculo del Caudal preliminar del Aspersor y la comprobación de las intensidades de aplicación calculada y tabulada.

El Caudal preliminar del Aspersor se calculó en función del número total de aspersores y el caudal preliminar del sistema; teniendo como resultado un caudal de 0.058 l/s.

La Intensidad de Aplicación calculado del aspersor, se obtuvo en función del caudal preliminar del aspersor y el área de influencia de riego del aspersor, teniendo como resultado una intensidad calculada de 1.45 mm/Hr. Esta intensidad calculada fue comprobada dentro del rango entre la intensidad media y la infiltración básica.

Según los requerimientos calculados de caudal del aspersor, intensidad de aplicación y espaciamientos entre aspersores y entre laterales, se seleccionó del catálogo el aspersor VYR 16. Se volvió a comprobar su intensidad de aplicación tabulado, cuyo tiempo de operación fue menor que la mitad del tiempo de operación máximo y su intensidad de aplicación tabulado fue menor que la infiltración básica.

Gráfico 6. Características del aspersor seleccionado



En el Gráfico 6 se muestra el tipo de aspersión seleccionado, de acuerdo a los requerimientos calculados de caudal, intensidad de aplicación permisible y área de influencia para el aspersor (espaciamento entre aspersores y espaciamento entre laterales). Resultando encontrar un aspersor de catálogo con características similares, denominado VYR-16:

- Caudal = 105 l/hr (0.061 l/s)
- Intensidad de Aplicación = 1.52 mm/Hr (con permisibilidad comprobada)
- Diámetro de aspersión = 22m
- Presión del aspersor = 2.5 bares (25 m)
- Boquilla = 2 mm

Gráfico 7. Cálculo del caudal ajustado del sistema y la verificación final

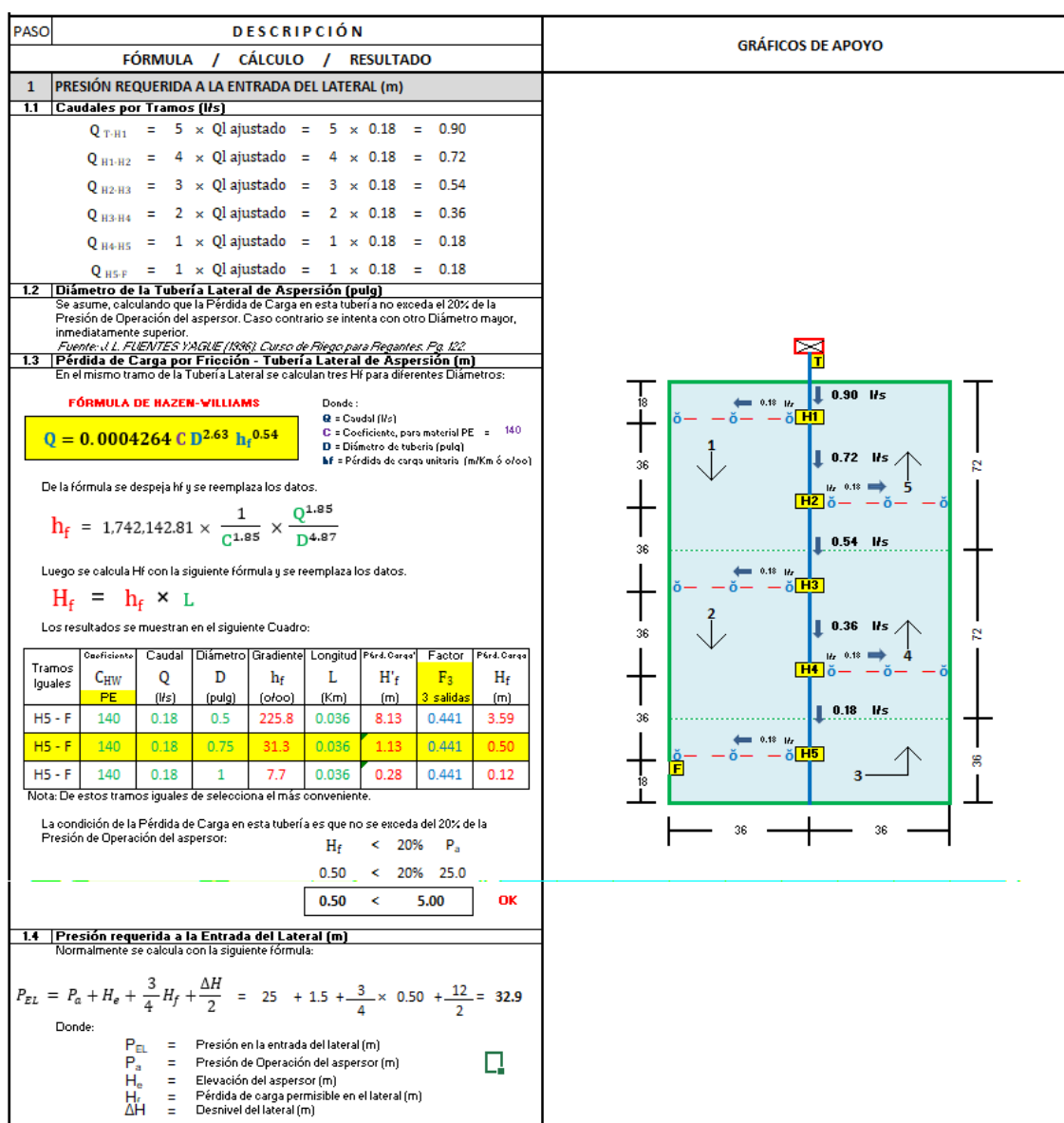
PASO	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	RESULTADO	GRÁFICOS DE APOYO
		CÁLCULO		
13	Q_l CAUDAL DEL LATERAL (l/s) <u>AJUSTADO</u>	$Q_l = N^{\circ} \text{ Asp./Lat} \times Q_a$ $Q_l = 3 \times 0.061 = 0.18$	0.18	Caudales Ajustados:
14	Q_s CAUDAL DEL SISTEMA (l/s) <u>AJUSTADO</u>	$Q_s = N^{\circ} \text{ Lat} \times Q_l$ $Q_s = 5 \times 0.18 = 0.90$	0.90	
15	VERIFICACIÓN FINAL TRASLAPE ASPERSORES	SI CUMPLE: $E_a > S_a \wedge E_i > S_i \rightarrow \text{OK, FALSO}$ SEGUN TABLA : Para $V_v = 3.06 \text{ (m/s)}$ $\begin{cases} E_a = 60\% \varnothing_a \\ E_i = 60\% \varnothing_a \end{cases}$ $\rightarrow E_a = 60\% \times \varnothing_a = 60\% \times 22 = 13 \geq 12$ OK $\rightarrow E_i = 60\% \times \varnothing_a = 60\% \times 22 = 13 \geq 12$ OK		

En el Gráfico 7, se muestra la conclusión del diseño agronómico, lo cual está expresado en la determinación del caudal ajustado para la capacidad instalada del sistema de la red de riego por aspersión, obteniéndose como resultado un caudal de 0.90 l/s. Finalmente, fueron verificados los traslapes de los diámetros de riego de aspersión, acorde a la velocidad de viento de la zona de estudio.

4.2.3. Primera Etapa del Diseño Hidráulico del Riego por Aspersión

El diseño hidráulico de la red de riego por aspersión, esencialmente, en función de los caudales, se determinan los diámetros y las presiones en los tramos y puntos críticos de la red. La primera etapa del diseño hidráulico de la red, es garantizar la presión mínima a la entrada de la tubería de aplicación (línea lateral móvil), lo cual amerita su cálculo respectivo. Esta presión fue la que hizo mover los tres aspersores del lateral (línea lateral móvil).

Gráfico 8. Cálculo de la presión requerida a la entrada del lateral



En el Gráfico 8 se muestra la secuencia de cálculo de la Presión Requerida a la Entradas del Lateral. Para lo cual, el primer paso es asegurarnos que con la selección del diámetro de la tubería lateral móvil de aspersión no se exceda en esta tubería, la pérdida de carga mayor al 20 % de la Presión de Operación del Aspersor; siendo este del orden de 25 m. Entonces resultando una pérdida de carga permisible de 5 m.

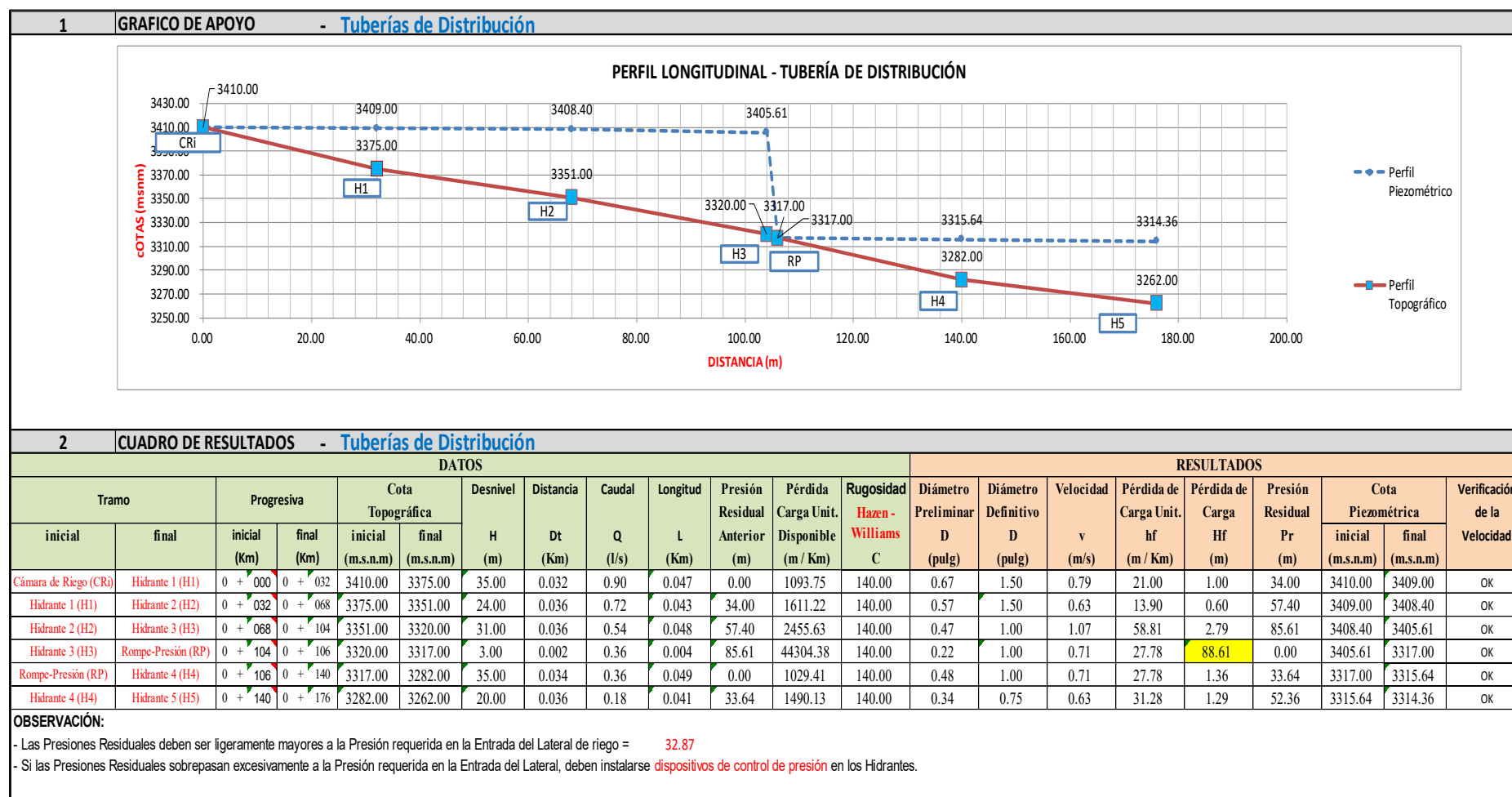
Se planteó con tres diámetros, 0.5", 0.75" y 1.0"; resultando que el diámetro de más conveniente fue el de 0.75".

Finalmente, la Presión Requerida a la entrada del Lateral, está en función de la suma algebraica de la presión de operación del aspersor, la elevación del aspersor, la pérdida de carga permisible en el lateral y el desnivel del lateral. Obteniendo como resultado, una presión requerida de 32.9 m.

4.2.4. Segunda Etapa del Diseño Hidráulico del Riego por Aspersión

La segunda etapa del diseño hidráulico de la red de riego por aspersión, está en función a los caudales requeridos para los tramos críticos de la tubería de distribución (fija) y de la tubería de aplicación (lateral móvil de aspersión), pero también de la mínima presión requerida a la entrada del lateral. Se calcularon los diámetros de los tramos de las tuberías referidas y sus respectivas presiones de trabajo en los puntos críticos.

Gráfico 9. Resultados de parámetros hidráulicos en la tubería de distribución



En el Gráfico 9 se muestra, en función de los caudales determinados previamente y de la presión requerida a la entrada del lateral, el cálculo secuencial de los diámetros de los tramos críticos y las presiones residuales al término de cada tramo. Resultando que la tubería de distribución está compuesta de dos tramos de diámetros de 1.50” y tres tramos de 1.00” y un tramo final de 0.75”. Se verificó que las presiones terminales y las velocidades en los tramos sean las convenientes.

Tabla 1. Resumen de Resultados del Diseño Agronómico

Descripción	Cantidad	Unidad
Uso Consultivo	2.50	mm/día
Lamina Neta	10.73	mm
Frecuencia de Riego	4.00	días
Turno de Riego	3.00	días
Número de Laterales	5.00	laterales
Disposición de Laterales	72.00	posiciones
Caudal del Sistema	0.88	l/s
Caudal del Aspersor	0.06	l/s
Intensidad de Aplicación Calculado	1.45	mm/Hr
Comprobación Intens. Aplic. Calculado	OK	
Selección del Aspersor	Aspersor VYR 16	
Comprobación Intens. Aplic. Tabulado	OK	
Caudal del Lateral Ajustado	0.18	l/s
Caudal del Sistema Ajustado	0.90	l/s
Verificación Final Traslape Ø Aspersión	OK	

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los resultados del diseño agronómico del sistema de la red de riego por aspersión. Se observa que el diseño agronómico empieza por el cálculo del Uso Consuntivo del cultivo de papa nativa, para luego calcular la Lámina Neta de riego y el Turno de Riego, y con ello determinar el Número de Laterales del sistema y estimar el Caudal del Sistema, considerando los requerimientos hídricos del área agrícola. En base a estos últimos se determinó el Caudal del aspersor y su correspondiente Intensidad de Aplicación calculado, del cual se tuvo que comprobar su admisibilidad.

De acuerdo al Caudal del Aspersor y su Intensidad de Aplicación calculado y comprobada, se realizó la Selección del Aspersor, resultando el aspersor VYR- 16. Por las características del aspersor VYR-16, propias de sus especificaciones técnicas según catálogo, este funcionará con un caudal ajustado de 0.061 l/s, cuya intensidad de aplicación también fue comprobada su admisibilidad. En consecuencia, en base a lo anterior, se determinó el caudal del lateral ajustado y el caudal del sistema ajustado, resultando este un caudal de 0.90 l/s. Finalmente, fueron verificados los traslapes de los diámetros de riego de aspersión, los cuales fueron admisibles.

Tabla 2. Resumen de Resultados del Diseño Hidráulico

Tramo		Caudal	Diámetro	Presión
Inicio	Final	(l/s)	(pulg)	Final (m)
Tubería de Distribución (Línea fija)				
Cámara de Riego	Hidrante 1 (H1)	0.90	1.50	34.00
Hidrante 1 (H1)	Hidrante 2 (H2)	0.72	1.50	57.40
Hidrante 2 (H2)	Hidrante 3 (H3)	0.54	1.00	85.61
Hidrante 3 (H3)	Rompe- Presión (RP)	0.36	1.00	0.00
Rompe- Presión (RP)	Hidrante 4 (H4)	0.36	1.00	33.64
Hidrante 4 (H4)	Hidrante 5 (H5)	0.18	0.75	52.36
Tubería de Aplicación (Línea Lateral Móvil)				
Hidrante 5 (H5)	Punto Final (F)	0.18	0.75	32.87

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los caudales, diámetros y presiones terminales de los distintos tramos críticos de las Tubería de Distribución (línea fija) y de la Tubería de Aplicación (línea lateral móvil). Precisando que la presión mínima a la entrada de cada lateral fue de 32.9 m.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general de investigación

El diseño de la red del sistema de riego por aspersión si se encuentra asociado a la demanda hídrica y los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del

sistema de riego por aspersión para cultivo de papa nativa. En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

4.3.2. Hipótesis específicas de investigación

- a) El diseño agronómico del riego por aspersión si se encuentra asociado a la demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa. En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.
- b) El diseño hidráulico del riego por aspersión si se encuentra asociado a los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión. En base a los resultados de tablas y gráficos obtenidos, se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

4.4. Discusión de resultados

En el gráfico 4, se presentan la secuencia de los cálculos de la Lámina Neta de riego (10.73 mm), en función de las humedades de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, la Profundidad Radicular, la Densidad Aparente y el Porcentaje de Agotamiento, tal como lo precisa Morales (2018) cuando calculó la lámina neta y la lámina bruta de riego, según el siguiente detalle:

Cuadro 8. Resultados de la lámina neta y la lámina bruta de riego. Morales (2018).

CC (%)	PM (%)	da (g/cc³)	DT (%)	Pr (cm)	Ln (mm)	Lb (mm)
18	8	1.58	40	20	12.64	15.80

En el gráfico 4, también se presentan el cálculo del Turno de Riego (3 días), que resultó de dividir la Lámina Neta entre el Uso Consuntivo (ETc), para luego ajustarlo por seguridad. descontando el tiempo de paro, tal como lo precisa Morales (2018) cuando calculó el intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego), según el siguiente detalle:

Cuadro 9. Intervalo de riego (frecuencia de riego) y el intervalo de riego ajustado (turno de riego). Morales (2018).

ETo (mm. día ⁻¹)	3.82
Precipitación efectiva (mm. día ⁻¹)	0.00
Kc grass	0.85
Etc. Grass (mm. día ⁻¹)	3.25
Lamina neta (mm. día ⁻¹)	12.64
Eficiencia de aplicación	0.80
Lamina bruta (mm. día ⁻¹)	15.80
Intervalo entre riegos (días)	3.89
Ir' ajustado (día)	3.00

En el Gráfico 4, el caudal preliminar del sistema de 0.88 l/s, se calculó, fundamentalmente, tomando en cuenta el área agrícola a servir por del sistema de riego, la lámina de riego con el sistema y los turnos de riego, como así lo expresa Monge (2018), en el estudio del diseño agronómico de riego por aspersión, cuando establece que caudal necesario de riego está determinado por producto de la superficie a regar y la dosis bruta, dividida por el producto de la jornada efectiva de riego y el intervalo máximo entre riegos. Precisando que si tuviéramos una disponibilidad de caudal superior al caudal necesario se podría regar la parcela de una vez, aunque lo más operativo lógicamente es dividir la parcela en sectores. Y en cuanto a la jornada efectiva de riego se debe tener en cuenta el sistema que se va a emplear para regar; donde si por ejemplo se opta por sistemas de traslado manual de tuberías de riego, debemos de considerar este tiempo de traslado en los cálculos.

En el Gráfico 5 donde se muestran la intensidad de aplicación calculada de 1.45 mm/Hr, esta se encuentra dentro del rango admisible entre la Im (0.5 mm/Hr) y la Infiltración Básica (6.50 mm/Hr); esto es confirmado por Monge (2018), cuando afirma que la precipitación del riego por aspersión no debe superar la capacidad de infiltración de agua en el suelo, esto con la finalidad que no se produzca encharcamiento ni escorrentía. Asimismo, de acuerdo a esta exigencia de intensidad de aplicación, caudal

calculado del aspersor (0.058 l/s) y marco de riego $S_l \times S_a$ (12m x 12m), se buscó arbitrariamente en el catálogo de aspersores marca VYR y se seleccionó el aspersor modelo VYR-16 con especificaciones técnicas parecidas, sobre todo su intensidad de aplicación tabulada en el catálogo (1.52 mm/Hr). Luego la aceptación de la selección del aspersor siempre estará supeditada a la comprobación que su Tiempo de Operación (10.06 Hr) sea menor a la mitad del tiempo máximo de operación ($22/2=11$ Hr) y que su Intensidad de Aplicación (1.52 mm/Hr) sea menor que la Infiltración Básica (6.5 mm/Hr). Lo cual si cumplió. Este procedimiento se corrobora cuando Monge (2018) afirma que después de consultar los datos del fabricante, elegimos un caudal cercano, un diámetro de riego similar y por tanto no es necesario variar el marco de riego primigenio. Entonces, para esta nueva circunstancia tendríamos que hacer nuevos cálculos de Pluviometría del sistema (Intensidad de Aplicación) y, consecuentemente, el Caudal Definitivo del Sistema, el mismo que está en función del producto de la cantidad total de aspersores y del caudal del aspersor del fabricante.

En el Gráfico 6 donde se muestran las especificaciones técnicas del aspersor seleccionado, VYR-16, en concordancia con los requerimientos de riego por aspersión predeterminados, debe precisarse que estos requerimientos pueden ser buscados en otros aspersores de cualquier marca, que estipulen características similares o parecidas, tal como lo indica Monge (2018), cuando considera que la elección de los aspersores, marco y caudal del aspersor es a criterio del proyectista, teniendo en cuenta dos importantes consideraciones: que la pluviometría de la aspersión del sistema sea inferior a la permeabilidad de los suelos para evitar encharcamiento y pérdida de agua por escorrentía.

En el Gráfico 7 se muestran los cálculos de los caudales ajustados de cada lateral (0.18 l/s) y, consecuentemente, del caudal ajustado del sistema (0.90 l/s), los mismos

que están en función del caudal del aspersor VYR-16, notándose que el caudal ajustado del sistema es ligeramente mayor que el caudal preliminar del sistema (0.88 l/s), garantizando el cubrimiento de las necesidades hídricas del área agrícola. El cálculo del caudal ajustado del sistema es corroborado por Monge (2018) al investigar el diseño agronómico en riegos agrícolas a presión, donde concluye que el caudal definitivo del sistema es el resultado de multiplicar el número total de aspersores por el caudal de cada aspersor. Precisando que el caudal definitivo obviamente debería ser menor que el caudal disponible.

En el Gráfico 7, la verificación final en el diseño agronómico, está referido al traslape del diámetro de aspersión. La verificación de este traslape está supeditado a la velocidad del viento; para nuestro caso para una velocidad de 3.06 m/s corresponde un traslape del 60% del diámetro de aspersión, lo cual logra ser mayor (13 m) a los espaciamientos entre aspersores (12 m) y entre laterales (12 m). Este planteamiento es respaldado por Monge (2018), quien señala que el cálculo del solape suele basarse en la velocidad media del viento, ya que este factor influye de manera determinante en la uniformidad del riego por aspersión. En este sentido, recomienda establecer distancias entre aspersores equivalentes al 60 o 65% del diámetro efectivo de riego, ya sea en marcos cuadrados o triangulares, siempre que la velocidad media del viento sea menor a 3 m/s.

En el gráfico 8, se presentan los cálculos hidráulicos para determinar el Diámetro del Lateral (3/4") y la Presión Requerida a la Entrada del Lateral (32.9 m), considerando que la pérdida de carga en la tubería lateral no exceda el 20% de la presión del aspersor (25 m), tal como lo precisa Morales (2018) cuando diseñó los tramos de la línea de tubería lateral, considerando el criterio de rango de velocidad permisible y la

tolerancia de presiones en el lateral (menor al 20 por ciento), tal como se muestra en el siguiente detalle:

Cuadro 10. Rango de velocidad permisible y la tolerancia de presiones en el lateral. Morales (2018).

Tramo	Q	Dn	Di	V	Long de tub equiv.	L acc	L tub	L Tot	Hf
(x-y)	(lt/s)	(pulg)	(mm)	(m/s)	Accesorios	(m)	(m)	(m)	(m)
1-A	0.75	1.00	29.40	1.10		0.00	11.0	11.0	0.58

El criterio técnico es corroborado por Tarjuelo (2005) cuando sostiene que la determinación de los diámetros en los ramales porta aspersores debe basarse en la uniformidad de la distribución de caudales. De manera convencional, y respaldado por la práctica, se establece que la diferencia de caudal entre dos aspersores de un mismo ramal no debe superar el 10% del caudal nominal. En este sentido, dicha variación en el caudal corresponde a una diferencia entre la presión máxima y mínima de aspersión dentro del ramal, la cual debe ser igual o inferior al 20% de la presión nominal del aspersor.

En el Cuadro 9 se presentan los cálculos hidráulicos de los diámetros y las presiones residuales en los tramos y puntos de tubería estudiados, considerando el rango de velocidades de flujo admisibles, tal como lo precisa Monge (2018), cuando recomienda que una velocidad máxima 2.5-3.0 m/s en tuberías principales y secundarias, y de 1.5-2.0 m/s en laterales o ramales, esto debido a las elevadas pérdidas de carga por rozamiento que se producen en los tubos de menor diámetro. Asimismo, cuando sugiere una velocidad mínima de circulación de 0.5 m/s, para evitar sedimentación en el interior de las conducciones. Esto es corroborado por Navarro (2022), cuando concluye en su trabajo de investigación, que de acuerdo al reglamento

nacional de edificaciones (RNE), la velocidad de flujo en tuberías de riego, debe fluctuar entre 0.6 m/s y 3.6 m/s.

CONCLUSIONES

Respecto al diseño agronómico, se concluye que el caudal del sistema a capacidad instalada es de 0.90 l/s. El aspersor seleccionado de acuerdo a las exigencias técnicas es el aspersor VYR-16, siendo sus especificaciones técnicas: Boquilla = 2 mm de diámetro, Presión de trabajo = 25 m, Caudal de salida = 0.061 l/s, Diámetro de Aspersión = 22 m e Intensidad de Aspersión = 1.52 mm/Hr.

Respecto diseño hidráulico, se concluye que el diámetro inicial de la tubería de distribución (línea fija) es de 1.5 pulgadas y que van descendiendo conforme van alimentando a los hidrantes (cinco hidrantes). El diámetro de la tubería de aplicación (tubería lateral móvil) es de 0.75 pulgadas.

Respecto diseño hidráulico, se concluye que las presiones finales en cada tramo de la tubería de distribución, a la entrada de cada tubería lateral móvil es mayor o igual a 32.9 m, permitiendo así que los aspersores operen de forma eficiente, con el caudal y el diámetro de aspersión idóneo.

RECOMENDACIONES

A fin de lograr una investigación más integral, se sugiere complementar el trabajo de investigación con cálculos precedentes respecto a la determinación del uso consuntivo.

Se recomienda que plantear modelos o plantillas de cálculos para extensiones de menor o mayor área, a fin de poder automatizar con el programa Excel, el diseño de riego por aspersión.

Se recomienda organizar la información de campo y los resultados, a fin de facilitar el uso del programa Watercad y comparar los resultados obtenidos.

Se sugiere presentar los planos topográficos a fin de lograr una visualización más exacta de las dimensiones y escalas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anten, M. & Willet, H. (2000).** *Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera*. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo – Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos. Perú.
- De la Cruz, L. (2022).** *Propuesta de riego por aspersión, para optimizar el canal alimentador de la presa Cuchoquesera, Chuschi, Cangallo, Ayacucho – 2022* [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106370>
- Gonzales, E. (2020).** Comportamiento hidráulico del sistema de riego por Aspersión mediante Herramientas computacionales, Paras, Ayacucho 2020 [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63382>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (2020).** *Diseño agronómico e hidráulico en sistema de riego tecnificado*. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.
- Jurado, S. (2020).** *Propuesta de mejoramiento del sistema de riego, sector Cotaquite, distrito de Kishuara, provincia de Andahuaylas y región de Apurímac* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La_Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5232>
- Municipalidad Distrital de Santa Ana de Tusi (2019).** *Instalación Del Servicio de Agua Para Riego con Represamiento de La Laguna Estanco en el Centro Poblado de Tactayoc, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia de Daniel Alcides Carrión – Pasco* [Proyecto de Inversión]. Pasco.
- Monge, M. (2018).** *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. Editorial Agrícola. Madrid, España.
- Mott, R. (2006).** *Mecánica de fluidos*, Naucalpan de Juárez, México.

Navarro, Q. (2022). *Diseño de línea de conducción de agua residual filtrada para riego mediante modelamiento con software Watercad en Sayhuapata, Ayacucho, 2022*
[Tesis de Grado, Universidad César Vallejo]

Llique, R. (2017). *Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UMALM* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La_Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3280>

Morales, A. (2018). *Diseño de un sistema de riego por aspersión para áreas verdes urbanas -parque zonal Huiracocha San Juan de Lurigancho-Lima.* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La_Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3284>

Tarjuelo, M. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología.*

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

ANEXO 1: Expediente Técnico del Proyecto “Instalación del Servicio de Agua para Riego con Represamiento de la laguna Estanco en el Centro Poblado de Tactayoc, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia de Daniel Alcides Carrión – Pasco”



**CUADRO RESUMEN DE FUENTE DE INFORMACIÓN DEL EXPEDIENTE
TÉCNICO DEL PROYECTO**

Información	Fuente	Ubicación
Área del Proyecto de Inversión de Riego	Estudio de Demanda Hídrica. Pág. 6.	Anexos
Coeficiente de Cultivo de papa	Estudio de Demanda Hídrica. Pág. 2.	Anexos
Disponibilidad Hídrica en la Laguna Estanco.	Resolución de Disponibilidad hídrica. Pág. 2.	Documentos de Sostenibilidad
Información Meteorológicas	Reporte de SENAMHI. Pág. 1-3.	Anexos
Información Topográfica	Planos topográficos de Planta.	Informe Topográfico
Información de Suelo	Informe de Gestión Ambiental (IGA). Pág. 15	Informe de Impacto Ambiental

ANEXO 2: Fichas técnicas de Datos Meteorológicos



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ESTACION: **CO CERRO DE PASCO**

LATITUD: 10°41'36.03" SUR
LONGITUD: 76°15'15.18" OESTE
ALTITUD: 4365 msnm

DPTO.: Pasco
PROV.: Pasco
DIST.: Chaupimarca

Parametro: Precipitación Total Mensual (mm)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2009	119.4	105.6	188.2	54.2	34.7	30.3	23.0	56.8	21.4	68.8	119.5	213.0
2010	178.0	123.3	126.4	59.9	17.0	2.0	7.0	0.0	23.7	94.1	73.1	120.0
2011	165.8	164.2	149.3	65.7	25.6	0.0	15.6	12.9	102.7	73.1	76.5	191.7
2012	152.6	163.8	88.4	104.7	44.2	17.6	5.7	7.3	53.6	108.8	116.7	203.8
2013	190.4	134.7	177.0	85.6	46.7	26.6	21.4	35.6	52.5	168.3	77.8	119.2
2014	198.1	165.2	156.0	71.1	45.2	22.0	19.7	8.3	73.7	63.4	92.9	124.9
2015	139.0	65.0	129.8	98.0	43.1	15.7	19.5	8.9	56.6	76.3	124.4	120.9
2016	87.7	138.2	107.0	76.2	23.7	20.0	9.7	33.5	32.7	135.7	20.6	118.0
2017	160.3	180.2	134.2	88.8	66.9	0.5	7.7	8.3	57.1	58.3	122.0	115.9
2018	139.3	100.6	118.3	80.8	36.2	17.7	16.2	26.0	86.0	206.1	112.2	227.1

Parametro: Temperatura Media Mensual (°C)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2009	5.9	5.6	5.4	5.6	5.2	5.0	4.3	5.1	6.0	5.8	11.4	6.1
2010	6.3	6.9	7.2	6.7	6.6	5.3	5.5	4.8	5.6	5.9	6.0	5.8
2011	5.4	5.2	5.7	5.4	5.6	5.1	4.2	5.4	5.3	5.9	6.4	5.4
2012	5.9	5.8	5.6	5.7	5.3	4.3	4.4	4.3	4.2	6.1	6.3	5.9
2013	6.4	6.4	6.2	6.2	6.1	4.8	3.6	4.5	5.4	5.6	6.2	6.2
2014	6.4	5.8	5.8	5.7	5.9	5.2	4.4	4.3	5.2	5.4	6.5	6.5
2015	6.0	6.3	6.0	5.8	5.9	5.1	4.9		6.5	6.2	6.4	6.4
2016	7.3	7.3	7.3	6.5	6.7	4.9	4.5	5.6	5.3	6.1	6.8	6.3
2017	5.9	5.8	6.0	6.3	6.0	5.5	4.7	5.6	5.9	6.4	6.4	6.1
2018	5.6	6.8	6.4	5.6	5.7	4.4	4.3	4.8	5.6	6.3	7.2	6.1

Parametro: Humedad Relativa Media Mensual (%)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2009	78	79	80	79	78	77	79	77	76	77	77	79
2010	79	75	76	76	73	76	78	78	80	79	81	89
2011	85	84	83	82	80	80	83	83	84	83	83	81
2012	80	76	85	86	86	84	83	83	82	85	81	86
2013	85	88	86	83	85	84	87	86	85	86	82	85
2014	86	86	86	86	85	85	85	86	83	86	85	85
2015	86	82	86	87	88	85	84	84	85	84	86	84
2016	84	86	84	85	84	86	84	84	94	84	87	84
2017	84	87	84	87	84	87	86	85	84	76	84	84
2018	86	85	85	84	79	73	77	78	80	79	84	84

ANEXO 3: Presupuesto para la Ejecución del Sistema de Riego por Aspersión

PRESUPUESTO ANALÍTICO					
PROYECTO :		Sistema de Riego por Aspersión para una parcela de 1.30 Ha			
LUGAR :		Tactayoc, Santa Ana de Tusi, Daniel Alcides Carrión, Pasco			
RESPONSABLES :		Carlos Alberto Egúsqüsa Cornelio - Cristian Huamán Hilario			
DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UND	CANT.	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
1 MANO DE OBRA					
- Operario	h-h	80.00	10.00	800.00	3,000.00
- Oficial	h-h	80.00	7.50	600.00	
- Peón	h-h	320.00	5.00	1,600.00	
2 MATERIALES					6,283.09
- Tubería PVC SAP C-10 de 1.5"	m	95.55	13.60	1,299.48	
- Tubería PVC SAP C-10 de 1.0"	m	105.00	7.20	756.00	
- Tubería PVC SAP C-10 de 3/4"	m	43.05	5.20	223.86	
- Tubería HDPE de 3/4"	m	262.50	3.00	787.50	
- Collarín toma Polipropileno de 1.5" x 3/4"	und	2.00	20.00	40.00	
- Collarín toma Polipropileno de 1.0" x 3/4"	und	4.00	15.00	60.00	
- Collarín toma Polipropileno de 3/4" x 3/4"	und	1.00	10.00	10.00	
- Codo HDPE de 3/4" con rosca (ingreso y salida)	und	10.00	4.00	40.00	
- Bayoneta y acople rápido HDPE de 3/4"	und	5.00	25.00	125.00	
- Tee HDPE de 3/4" con rosca	und	20.00	8.00	160.00	
- Parantes de rollizo de 1m x 1"	und	25.00	3.00	75.00	
- Tubo parante PVC SAP C-10 de 3/4" x 1m	und	25.00	3.00	75.00	
- Unión mixta PVC-SAP de 3/4"	und	25.00	2.50	62.50	
- Adaptador PVC-SAP de 3/4"	und	25.00	2.50	62.50	
- Aspersor VYR 16, boquilla de 2mm	und	5.00	60.00	300.00	
- Cono de rebose PVC de 4" a 2"	und	2.00	8.00	16.00	
- Válvula PVC de 2.0" (rebose)	und	2.00	40.00	80.00	
- Válvula flotador PVC de 1.0" (CRI y RP)	und	2.00	40.00	80.00	
- Válvula PVC de 1.5" (ingreso)	und	1.00	30.00	30.00	
- Válvula PVC de 3/4" (purga)	und	1.00	10.00	10.00	
- Pegamento	gl	0.25	105.00	26.25	
- Teflón	und	4.00	2.00	8.00	
- Cemento	bl	16.00	33.50	536.00	
- Arena gruesa	m3	1.30	80.00	104.00	
- Arena fina	m3	0.50	120.00	60.00	
- Fierro f'y=4200 Kg/cm2 de 3/8"	var	8.00	20.00	160.00	
- Alambre N° 16	Kg	4.00	2.00	8.00	
- Panel de triplay	p²	48.00	6.00	288.00	
- Tapa metálica de 0.60mx0.60mx1.5mm (cámara y caja válvulas)	und	2.00	200.00	400.00	
- Tapa metálica de 0.40mx0.40mx1.5mm (hidrante)	und	5.00	80.00	400.00	
3 HERRAMIENTAS					
3% de M.O.	%		3.00	6,283.09	188.49
4 EQUIPOS					
s/e	---	---	---	---	0.00
TOTAL PRESUPUESTO - COSTO DIRECTO (S/.)					9,471.58

ANEXO 4: MATRIZ DE CONSISTENCIA: “Diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa, en la localidad de Tactayoc, Pasco – 2024”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema General ¿Cómo es el diseño de la red del sistema de riego por aspersión de una extensión agrícola de cultivo de papa nativa en la comunidad de Tactayoc?	Objetivo General Evaluar el diseño de la red del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa en la comunidad de Tactayoc	Hipótesis General El diseño de la red del sistema de riego por aspersión está asociado a la demanda hídrica y los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión para cultivo de papa nativa	Variables Independientes Características físicas de la parcela agrícola Uso consultivo del cultivo de papa nativa	Evapotranspiración del cultivo Eficiencia del tipo de riego	Formato de información bibliográfica Formato de información bibliográfica
Problemas Especifico ¿Cómo es el diseño agronómico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa en la comunidad de Tactayoc? ¿Cómo es el diseño hidráulico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa en la comunidad de Tactayoc?	Objetivos Específicos Evaluar el diseño agronómico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa en la comunidad de Tactayoc Evaluar el diseño hidráulico del riego por aspersión de una extensión agrícola de papa nativa en la comunidad de Tactayoc	Hipótesis Específicas El diseño agronómico del riego por aspersión está asociado a la demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa El diseño hidráulico del riego por aspersión está asociado a los tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión	Variables Dependientes Demanda hídrica del sistema de riego por aspersión del área agrícola del cultivo de papa nativa Tamaños de las secciones hidráulicas de los conductos del sistema de riego por aspersión	Caudal hídrico Diámetro de la tubería	Formulas empíricas Formulas empíricas

ANEXO 5: Vistas Fotográficas



Zona del trabajo de investigación. Comunidad de Tactayoc.



Fuente Hídrica para el trabajo de investigación. Laguna El Estanco.



Vista panorámica de la Laguna Estanco



Vista del Río Tactayoc, a la salida de la Laguna Estanco



Exploración de la zona de captación de las aguas para el sistema de riego



Vista de la topografía del terreno de la parcela agrícola