UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

“Diseño Hidráulico y Estudio de Rentabilidad del Proyecto de la Bocatoma
San Pedro para abastecer las zonas agrícolas de San Pedro y Santa Cruz en la
región Ayacucho”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Contreras Cusi, Leonid Simon (0000-0002-7379-3799)

Villegas Macedo, Alejandro Ruben (0000-0001-5249-7387)

ASESOR

Maldonado Carrasco, David Alberto (0000-0003-3064-2680)

Lima, 23 de Octubre del 2019

DEDICATORIA

A Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos. A nuestros padres que siempre nos apoyaron incondicionalmente y a nuestros hermanos y demás familiares en general por el apoyo que siempre nos brindaron día a día en el transcurso de nuestra formación académica.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo general realizar una propuesta técnico-económica del diseño hidráulico de una bocatoma para beneficio de las comunidades San Pedro y Santa Cruz pertenecientes a la región Ayacucho, estas comunidades no cuentan con infraestructura adecuada que les permita mejorar su sistema de riego y aprovechar de manera eficiente su potencial agrícola y la utilización de sus recursos humanos. La investigación realiza un estudio hidrológico para determinar las necesidades hídricas para agricultura, se generó los caudales medios mensuales del río San Pedro mediante el modelo de Luzt Scholz para determinar la oferta hídrica y finalmente se hizo el análisis de máximas avenidas, utilizando información proporcionada por el SENAMHI, ANA y otras instituciones relacionadas. Se presenta un diseño hidráulico de la bocatoma y de sus componentes más importantes, así como su presupuesto mediante metrados y análisis de precios unitarios. Finalmente se presenta el estudio económico de rentabilidad para determinar si el proyecto es viable. La investigación concluye que la implementación de proyectos como la bocatoma San Pedro permite mejorar no solo el sistema productivo agrícola de las comunidades si no también produce beneficios económicos a sus comuneros.

Palabras clave: Diseño hidráulico; infraestructura; bocatoma; rentabilidad.

Hydraulic Design and Profitability Study of the San Pedro Bocatoma Project to supply the agricultural areas of San Pedro and Santa Cruz in the Ayacucho region

ABSTRACT

The present investigation has for general objective to realize a technical economic proposal of the hydraulic design of an intake for the benefit of the San Pedro and Santa Cruz communities belonging to the Ayacucho region, these communities do not have adequate infrastructure that allows them to improve their irrigation system and to efficiently use its agricultural potential and the use of its human resources. The research carried out a hydrological study to determine the water needs for agriculture, the average flows of the San Pedro River were generated by the Luzt Scholz model to determine the water supply and finally the analysis of maximum floods was made, using information provided by the SENAMHI, ANA and other related institutions. It presents a hydraulic design of the intake and its most important components, as well as its budget by means of measurements and unit price analysis. Finally, the economic profitability study is presented to determine if the project is viable. The research concludes that the implementation of projects such as the San Pedro intake allows to improve not only the agricultural production system of the communities but also to produce economic benefits to their community members.

Keywords: Hydraulic design; infrastructure; bocatoma; profitability.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1	Formulación del problema.....	3
1.3	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	3
1.4	OBJETIVOS.....	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2	Objetivos Específicos	3
1.5	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1	Ubicación Política y Geográfica.....	4
1.5.2	Limitaciones	5
1.6	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:	5
1.7	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	CONCEPTOS HIDROLÓGICOS	7
2.1.1	Evapotranspiración (ET _c).....	7
2.1.2	Métodos para el cálculo de la evapotranspiración referencial.....	7
2.1.3	Demanda de agua agrícola.....	8
2.2	MÉTODO MATEMÁTICO DE LUTZ SCHOLZ.....	9
2.2.1	Balance hídrico	10
2.2.2	Coeficiente de escurrimiento	10
2.2.3	Precipitación Efectiva.....	11
2.2.4	Retención de la cuenca	13
2.2.5	Relación entre Descargas y Retención	14
2.2.6	Coeficiente de Agotamiento	14
2.2.7	Almacenamiento Hídrico.....	15
2.2.8	Gasto de la Retención	16
2.2.9	Restitución	17
2.2.10	Abastecimiento de la Retención	17
2.2.11	Determinación del Caudal Mensual para el Año Promedio	18
2.2.12	Generación de Caudales Mensuales para Períodos Extendidos	19

2.3	OBRAS DE CAPTACIÓN O TOMA	20
2.3.1	Tipos de obras de toma	20
2.3.2	Criterios de emplazamiento:	21
2.3.3	Componentes de la bocatoma tipo convencional:	22
3	ASPECTOS GENERALES Y DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO .	26
3.1	UBICACIÓN Y ACCESOS AL PROYECTO	26
3.2	SITUACIÓN DEMOGRÁFICA	28
3.3	DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .	29
3.3.1	Características del sistema.....	29
3.3.2	Nivel de satisfacción de la demanda (área regable y área regada)	30
3.3.3	Deficiencias del sistema	31
3.4	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA, CARTOGRÁFICA Y GEOLÓGICA.....	32
3.4.1	Topografía del proyecto.....	32
3.4.2	Geología	32
3.4.3	Meteorología.....	33
4	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	38
4.1	ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA	38
4.2	ANÁLISIS DE OFERTA DE AGUA	44
4.2.1	Características de la subcuenca del Río San Pedro	44
4.2.2	Caudales Medios Mensuales del Río San Pedro	47
4.2.3	Caudal Ecológico.....	62
4.2.4	Disponibilidad Hídrica	63
4.2.5	Balance hídrico de la Sub cuenca San Pedro.....	64
4.2.6	Análisis de Máximas Avenidas	65
5	DISEÑO DE OBRAS HIDRAULICAS	76
5.1	EVALUACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE OBRA DE TOMA	76
5.2	PARÁMETROS PRELIMINARES DE DISEÑO	76
5.2.1	Estimación del ancho de encauzamiento (B).....	76
5.2.2	Calculo de Coeficiente de rugosidad (n)	78
5.2.3	Cálculo del tirante extraordinario del río en la zona de encauzamiento (yn) ..	79
5.3	DISEÑO DE BOCATOMA SAN PEDRO	80

5.3.1	Diseño de Toma o Captación.....	80
5.3.2	Diseño de Barraje Fijo o Azud	86
5.3.3	Diseño de colchón Disipador.....	89
5.3.4	Diseño del Canal de Limpia	95
5.3.5	Diseño del Enrocado de protección o escollera (Ls)	98
5.3.6	Diseño del Desripador	100
5.3.7	Diseño de canal de transición	102
6	ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DEL PROYECTO	105
6.1	COSTOS DIRECTOS.....	105
6.2	COSTOS INDIRECTOS.....	107
6.3	COSTO TOTAL.....	107
6.4	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO INCREMENTALES	108
7	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO..	110
7.1	EVALUACIÓN PRIVADA DEL PROYECTO.....	110
7.2	INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO.....	116
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
8.1	CONCLUSIONES	119
8.2	RECOMENDACIONES	120
	REFERENCIAS	121
	ANEXOS	124
	ANEXO 1: PLANOS	124
	ANEXO 2: ESTUDIO HIDROLÓGICO	128
	ANEXO 3: ANÁLISIS PRECIOS UNITARIOS Y METRADOS	150
	ANEXO 4: ESTUDIO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	157
	ANEXO 5: REGISTRO FOTOGRÁFICO	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Water Power Resources Service (WPRS)	12
Tabla 2	United States Bureau of Reclamation (USBR)	12
Tabla 3	Cálculo de los Coeficientes de Agotamiento “a”	15
Tabla 4	Lámina de Agua acumulada en los tres tipos de almacén Hídrico.....	16
Tabla 5	Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en%)	17
Tabla 6	Almacenamiento hídrico durante la epoca de lluvia- (Valores a 1 %).....	18
Tabla 7	Cuadro de resumen de acceso al Proyecto	27
Tabla 8	Resumen de Población San Pedro – Censo 2017	28
Tabla 9	Estaciones meteorológicas cercanas al proyecto.....	34
Tabla 10	Estaciones Meteorológicas influyentes en el proyecto.....	34
Tabla 11	Temperatura Máxima Histórica (°C) 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto	36
Tabla 12	Temperatura Mínima Histórica (°C) 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto	36
Tabla 13	Humedad Relativa % 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto	37
Tabla 14	Evapotranspiración Referencial.....	38
Tabla 15	Kc de cada cultivo	39
Tabla 16	Precipitación Efectiva.....	39
Tabla 17	Demanda Agrícola sin proyecto – San Pedro.....	40
Tabla 18	Demanda Agrícola con proyecto – San Pedro.....	41
Tabla 19	Demanda Agrícola sin proyecto – Santa Cruz	42
Tabla 20	Demanda Agrícola con proyecto – Santa Cruz	43
Tabla 21	Caudal mensual demandado total.....	43
Tabla 22	Parámetros físicos de la Sub Cuenca San Pedro	45
Tabla 23	Parámetros morfológicos de la Sub Cuenca San Pedro.....	45
Tabla 24	Elevaciones y Áreas de la Subcuenca San Pedro	46
Tabla 25	Metodología de análisis del modelo Luzt Scholz.....	47
Tabla 26	Estaciones influyentes en el proyecto.....	48
Tabla 27	Precipitaciones media de la cuenca San Pedro (mm) (1964 – 2010)	49
Tabla 28	Cálculo de coeficiente de escurrimiento.....	52
Tabla 29	Curvas de precipitación efectiva de la Sub Cuenca San Pedro	53
Tabla 30	Coeficiente para el cálculo de P.E. Según Curva	54

Tabla 31 Precipitación Efectiva de la SubCuenca San Pedro	54
Tabla 32 Cálculo del coeficiente de agotamiento – Subcuenca San Pedro	55
Tabla 33 Cálculo del gasto de retención –Subcuenca San Pedro	56
Tabla 34 Cálculo del abastecimiento de retención – Subcuenca San Pedro	57
Tabla 35 Generación del caudal mensual promedio del río San Pedro en el Punto de aforo	58
Tabla 36 Comparación del Caudal Generado y el Caudal Histórico Sub cuenca del río San Pedro	58
Tabla 37 Caudales mensuales generados del Río San Pedro (m ³ /s) Periodo 1964-2010 ...	60
Tabla 38 Caudal generado con diferentes preferencias	61
Tabla 39 Caudal Ecológico.....	62
Tabla 40 Represamientos – Comisión de Regantes San Pedro	63
Tabla 41 Disponibilidad hídrica de la subcuenca San Pedro.....	64
Tabla 42 Disponibilidad hídrica de la subcuenca San Pedro.....	64
Tabla 43 Periodos de retorno según zona.....	65
Tabla 44 Caudal Máximo - Distribución Gumbel	66
Tabla 45 Caudal Máximo - Distribución Normal.....	66
Tabla 46 Caudal Máximo - Distribución Log Pearson Tipo III	67
Tabla 47 Caudal Máximo - Distribución Log Normal Tipo III.....	67
Tabla 48 Distribución Gumbel y Bondad de Ajuste.....	68
Tabla 49 Distribución Normal y Bondad de Ajuste	69
Tabla 50 Distribución Log Pearson Tipo III y Bondad de Ajuste.....	71
Tabla 51 Distribución Log Normal III y Bondad de Ajuste.....	72
Tabla 52 Tabla de valores críticos	74
Tabla 53 Resumen de valores de Dn max	75
Tabla 54 Formulas de la estimación del ancho de encauzamiento.....	77
Tabla 55 Zona y condición para parámetro que caracteriza el cauce	77
Tabla 56 Estimación del ancho de encauzamiento del río San Pedro	78
Tabla 57 Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad	79
Tabla 58 Tipos de materiales usados para el diseño de bocatomas	80
Tabla 59 Coordenadas para perfil Creager	89
Tabla 60 Coeficientes de Velocidad de Arrastre	96
Tabla 61 Resumen de Tabla de Coeficientes de Bligh.....	99

Tabla 62 Cálculo del ancho variable para la transición.....	104
Tabla 63 Resumen costos directos del proyecto San Pedro	106
Tabla 64 Resumen de costos del Proyecto	108
Tabla 65 Costos de operación y mantenimiento con proyecto a precios de mercado	109
Tabla 66 Ingresos por venta de agua sin proyecto, con proyecto e incrementales.....	112
Tabla 67 VNP de la actividad agrícola en las comunidades Sin Proyecto	112
Tabla 68 VNP de la actividad agrícola en las comunidades Con Proyecto.....	113
Tabla 69 Beneficios incrementales con proyecto precios mercado.....	115
Tabla 70 Flujo de caja y evaluación del proyecto a precios privados	117
Tabla 71 Resultados de la evaluación privada de la Alternativa planteada.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del proyecto	4
Figura 2 Ubicación Desripiador	24
Figura 3 Muros de encauzamiento	25
Figura 4 Ubicación geográfica del distrito de San Pedro	26
Figura 5 Accesos al proyecto San Pedro	28
Figura 6 Panorámica de la Subcuenca San Pedro.....	29
Figura 7 Áreas de cultivo de la comunidad de San Pedro	30
Figura 8 Polígonos de Thiessen para la subcuenca San Pedro	35
Figura 9 Demanda de agua total para riego con proyecto	44
Figura 10 Curva Hipsométrica de la Subcuenca San Pedro	46
Figura 11 Precipitación Mensual Promedio (1964-2010)	50
Figura 12 Precipitación promedio anual para el área de estudio Periodo 1964 – 2010	51
Figura 13 Calibración del Modelo Sub cuenca San Pedro	59
Figura 14 Caudal generado a diferentes persistencias.....	62
Figura 15 Balance hídrico de la sub cuenca San Pedro	64
Figura 16 Altura del Umbral del Orificio.....	81
Figura 17 Ventana de Captación	82
Figura 18 Dimensiones en la entrada de agua por la ventana de captación	83
Figura 19 Coeficiente de descarga en cimacios.....	87
Figura 20 Perfil del Azud de la bocatoma San Pedro.....	89
Figura 21 Longitud del salto en relación con D2 (estanque tipo V).....	93
Figura 22 Efecto de subpresión en el colchón dissipador	95
Figura 23 Escollera al Final del colchón dissipador	98
Figura 24 Vista Planta de la bocatoma San Pedro.....	99
Figura 25 Resalto en Desripiador	100
Figura 26 Canal de Transición de la bocatoma	102

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 Acequia de distribución existente en la comunidad San Pedro.....	30
Foto 2 Bocatoma San Pedro	31
Foto 3 Afloramiento de andesita del Grupo Tacaza	33
Foto 4 Parte alta de la Subcuenca San Pedro.....	45

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La agricultura en el Perú tiene un importante peso económico y social. En general, se estima que hay 2.3 millones de hogares cuya actividad principal es la agricultura (Zegarra y Tuesta, 2009). Estos hogares representan al 34% de los hogares peruanos y generan aproximadamente el 7.6% del PBI Nacional. Esta actividad económica representa un porcentaje mucho mayor cuando se refiere a los hogares de las zonas rurales, en donde alcanza el 84.4% de las familias (Zegarra y Tuesta, 2009).

A pesar de este importante porcentaje, se estima que alrededor de tres de cada cuatro agricultores peruanos son pobres (Libelula, 2011). Estos agricultores se caracterizan por tener bajos niveles tecnológicos y limitados activos productivos. En la zona rural de la sierra del Perú aproximadamente solo un 40% de la agricultura es tecnificada y presenta de infraestructura para el riego, y el resto solo proviene del aprovechamiento de las lluvias y pequeños represamientos presentes en la zona. Esto ha hecho que muchos de los hogares pobres de las zonas rurales opten por la migración hacia otras zonas con el objetivo de conseguir mayores ingresos (Libelula, 2011).

En el año 2010, el Ministerio de Agricultura actualizó su Plan Estratégico Sectorial Multianual (2007 – 2011), en este documento, identificó como el problema central el “Bajo nivel de desarrollo agrario y rural”, que generaba problemas de “migración rural” y “pobreza y exclusión social” (Libelula, 2011). Estos problemas se debían principalmente al Bajo nivel de competitividad y rentabilidad agraria, que adicionalmente tenía como principal factor el déficit de infraestructura rural.

Otros proyectos los realiza la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante su Dirección de estudios hidráulicos Multisectoriales, quien realizó un estudio a nivel de Perfil, Proyecto denominado “Rehabilitación y Mejoramiento Canal Principal Cumbaza” en la Región San Martín con el fin rehabilitar y mejorar el canal principal de la irrigación Cumbaza a través del revestimiento del canal de conducción, la capacitación de los agricultores y el fortalecimiento de la organización de usuarios. El estudio determinó como principal causa del nivel de atraso socioeconómico de los pobladores la ausencia de una infraestructura adecuada para el aprovechamiento del recurso hídrico, pues existe una escasez del recurso

hídrico producto de una baja eficiencia de su uso, lo que determina que no exista un aprovechamiento sostenible de los recursos de agua y suelos existentes, impidiendo potenciar las fronteras de producción (Ana, 2010).

La región Ayacucho tiene una especial relación de su economía con el agro representando casi el 20% de su producto bruto interno (PBI). Esta región, en los últimos años está invirtiendo en la mejora de los sistemas agrícolas

En este contexto en el año 2012 las comunidades de San Pedro y Santa Cruz perteneciente a la provincia de Lucanas en Ayacucho, junto a la Minera Apumayo, realizaron el estudio técnico del proyecto denominado “Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo” el cual planteo la construcción de una serie de obras hidráulicas en la cabecera de la cuenca San Pedro de manera que se pueda incrementar la disponibilidad hídrica para los usos agrícolas y mineros presentes en la zona. Este proyecto consistía en la construcción de una presa. En el año 2013 el proyecto quedó cancelado tras la salida de la empresa minera de la zona de estudio.

1.2 Problema de investigación

Las comunidades campesinas de San Pedro y Santa Cruz, al igual que gran parte de las zonas rurales de la sierra, poseen sistemas de infraestructuras hidráulicas con características rústicas, que carecen de elementos de control, regulación y distribución eficiente de los caudales.

En la zona de estudio existen aproximadamente 1040 has. de campos cultivables, pero la deficiente situación de la infraestructura hace que el agua no llegue a todas las áreas de riego en la parte baja y no se pueda aprovechar óptimamente los recursos humanos y naturales de la zona para un mejor beneficio económico y social de la población.

Adicionalmente estas comunidades presentan un difícil acceso terrestre (trocha carrozable), por lo que a lo largo del tiempo no fueron consideradas en programas de mejora de infraestructura de la región Ayacucho, lo que hasta el día hoy se traduce en bajos ingresos económicos de las comunidades y de sus habitantes.

Con esta problemática, esta investigación realizará el estudio de viabilidad técnica-económica del diseño hidráulico de la bocatoma San Pedro para beneficiar la agricultura de

las comunidades San Pedro y Santa Cruz, lo que contribuiría al crecimiento y mejora económica de sus pobladores y garantizará el uso eficiente del recurso agua regulando el caudal del río San Pedro.

1.2.1 Formulación del problema

¿Se puede mejorar el uso del recurso agua del río San Pedro y contribuir al crecimiento y mejora económica de los pobladores de las comunidades San Pedro y Santa Cruz?

1.3 Formulación de la hipótesis

La construcción de la infraestructura de captación de agua para riego de las comunidades San Pedro y Santa Cruz contribuirá a la mejora económica de los agricultores pertenecientes a dichas comunidades, y garantizará el uso eficiente del recurso agua regulando el caudal del río San Pedro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

La presente investigación, tiene por objetivo general evaluar mediante una propuesta técnica-económica la construcción de la bocatoma y la rentabilidad del proyecto para riego de las zonas agrícolas de las comunidades de San Pedro y Santa Cruz.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la demanda hídrica para riego de las comunidades San Pedro y Santa Cruz.
- Determinar la disponibilidad hídrica de la sub cuenca San Pedro, considerando el caudal del río generado mediante el modelo matemático de Luzt Scholz, el aporte de los represamientos existentes, el caudal ecológico y realizar el análisis de máximas avenidas.
- Elaborar una propuesta de diseño hidráulico de bocatoma para el provecho de las comunidades campesinas de San Pedro y Santa Cruz, considerando el material presente de la zona.
- Establecer los costos de la obra, mediante el desarrollo de costos unitarios, metrados y presupuestos.
- Determinar la rentabilidad del proyecto mediante un análisis de costo-beneficio.

1.5.2 Limitaciones

- El proyecto no contó con suficiente información meteorológica para el análisis de máximas avenidas, por lo que se trabajó con caudales mensuales promedio para su análisis.
- La presente investigación presenta información que han sido sustentadas a partir de las observaciones de campo, resultados de investigaciones de campo realizados en la zona de estudio y experiencia de proyectos similares. Se utilizó como base los estudios realizados en el proyecto de Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo (2012)

1.6 Justificación de la investigación:

La realización de un óptimo diseño hidráulico y su análisis de rentabilidad de una infraestructura de captación de agua para riego agrícola para las comunidades de San Pedro y Santa Cruz, es un beneficio muy oportuno que se le puede dar a las comunidades, llevando al máximo el aprovechamiento del río San Pedro, esto genera un gran impacto social y económico en dichas comunidades, puesto que la zona tiene un gran índice de aportación agrícola, con un área de 1040 ha. que se ubican en la provincia de Lucanas, en la región Ayacucho. Por ello se aplicará métodos hidrológicos e hidráulicos para el diseño de estructuras de toma, aplicando un modelo estocástico y determinístico para la determinación de caudales del río, y realizando el diseño hidráulico considerando los materiales de la zona.

1.7 Metodología de investigación

Primero se realizará un Diagnóstico de la Situación Actual de la zona de estudio. Se realizará una breve descripción de los datos demográficos, geográficos, hidrográficos, topográficos y meteorológicos de la zona de estudio. Posteriormente a este análisis se calculará la demanda hídrica de riego de las comunidades de San Pedro y Santa Cruz determinando así cuáles son las necesidades de agua para agro de la zona. Luego se realizará el estudio hidrológico de la subcuenca del río San Pedro, calculando los caudales mensuales promedio del río San Pedro en base al modelo matemático de generación del Ing. Lutz Scholz para obtener la oferta hídrica disponible en la zona, así como el análisis de Máximas avenidas de la Subcuenca.

El levantamiento topográfico de las zonas agrícolas de las comunidades San Pedro y Santa Cruz, se realizará mediante los programas de Global Mapper y Google Earth. Posteriormente

se realizó una visita al área de estudio con el fin de obtener el tipo de suelo del terreno y los tipos de materiales que cuenta el lugar.

Posteriormente se procederá con el diseño de las obras hidráulicas, como son la bocatoma. También se debe de tomar en cuenta que el río no solo trae agua, sino también materiales de mayores dimensiones, especialmente en la época de avenidas, por ello se debe de dotar a la estructura con un sistema de limpia. Se presentará la propuesta económica del proyecto mediante el desarrollo de costos unitarios y metrados, Finalmente se realizará el análisis de rentabilidad para evaluar la factibilidad del proyecto.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos Hidrológicos

2.1.1 Evapotranspiración (ETc)

Evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua de pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Estudio FAO riego y drenaje, 2006).

Evapotranspiración referencial (ETo) es un parámetro climático que expresa el potencial de evaporación de la atmósfera. Se refiere a la evapotranspiración desde una superficie referencial, que constituye una extensa superficie de grass verde bien regado, de una altura uniforme, creciendo activamente y llenando completamente el terreno (Estudio FAO riego y drenaje, 2006).

Evapotranspiración del Cultivo (ETc) es la cantidad de agua que la planta requiere para crecer. Es el punto de partida para todos los cálculos de determinación de las demandas agrícolas. Para el cálculo se utiliza la fórmula 2.1, brindada por el Estudio FAO riego y drenaje, 2006.

$$ETc = Kc \times ETo \quad (2.1)$$

Donde:

Kc = factor de cultivo

ETo = Evapotranspiración referencial

2.1.2 Métodos para el cálculo de la evapotranspiración referencial

Según el Estudio FAO riego y drenaje (2006), el método de FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método para determinar la evapotranspiración de referencia ETo. El cálculo de la evapotranspiración está dado por la siguiente expresión:

$$Eto = \frac{0.048 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u2)} \quad (2.2)$$

Donde:

Eto= Evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Rn = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

G = Flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

e_s = Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = Presión real de vapor (kPa)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ = Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) puede ser automatizado, muchos programas informáticos utilizan ya la ecuación FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia. Como ejemplo, los resultados generados por el programa CROPWAT (Estudio FAO riego y drenaje, 2006).

Los datos meteorológicos consisten en:

- Temperatura del aire: Temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) promedio diario para periodos de diez días o mensuales.
- Humedad del aire: el promedio mensual o decadiario de la presión real de vapor (e_a) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.
- Velocidad del viento: valores promedio decadiarios o mensuales de la velocidad diaria del viento medida a una altura de 2 m (u_2).
- Radiación: Promedio decadiario o mensual de la radiación neta diaria (R_n) calculada de la media decadiaria o mensual de la radiación de onda corta medida o de la duración real de las horas diarias de insolación (n).

2.1.3 Demanda de agua agrícola

Requerimientos de la planta o uso consuntivo es la cantidad de agua necesaria para el desarrollo de las plantas, cada planta o cultivo tiene diferentes demandas, depende de la ubicación del área agrícola (latitud), precipitación efectiva y temperaturas.

La precipitación efectiva para la agricultura es aquella porción de lluvia que no se pierde por percolación innecesaria y ni por escorrentía superficial.

(Estudio FAO riego y drenaje, 2006) Propone dos fórmulas generales para estimar lluvia o precipitación efectiva, están relacionados a la precipitación mensual promedio.

$$PEF = 0.8 \times P - 25, P > 75 \text{ mm/mes} \quad (2.3)$$

$$PEF = 0.6 \times P - 10, P < 75 \text{ mm/mes} \quad (2.4)$$

Según el Estudio FAO riego y drenaje, 2006, los requerimientos por aplicación del agua (aplicación de campo) son:

- Eficiencia en un sistema por gravedad, entre 40 – 60 %
- Eficiencia de un sistema por aspersión, entre 60 – 75 %
- Eficiencia de un sistema por goteo, entre 75 – 90 %

Requerimientos por pérdidas en la conducción: el agua hasta que llega a nivel de chacra sufre pérdidas en su conducción (canales), para un canal revestido el porcentaje varía entre 2-5 %, dependiendo de la longitud del canal. En un canal sin revestir las pérdidas son mayores.

El Requerimiento Neto de Riego (RNR), es la cantidad de agua de riego a ser suministrada al cultivo para satisfacer su uso consuntivo:

$$RNR = (Kc \times ETo) - PEF \quad (2.5)$$

Donde:

Kc = factor de cultivo

ETo = Evapotranspiración referencial

Tomar en consideración

- La demanda bruta de agua es la demanda de la planta más los requerimientos del sistema, aplicación y conducción.
- Una pérdida que no puede ser dejada de mencionar es la de mal manejo del sistema de riego que da lugar a importantes desperdicios y daños a la infraestructura.
- Las demandas generalmente se expresan en términos de m^3/ha o metros de lámina de agua, por campaña agrícola.

2.2 Método Matemático de Lutz Scholz

A pesar de que existen varios modelos hidrológicos, para la generación de descargas medias mensuales, la mayoría de los modelos se basan en información hidrometeorológica diaria como es el método de Temez, y es el limitante para la aplicación en nuestro medio, y pocos modelos a nivel mensual y uno de ellos es el modelo hidrológico Lutz Scholz, este modelo de generación de caudales mensuales en la sierra peruana tiene una aplicabilidad principalmente en pequeñas y medianas cuencas de la sierra peruana.

Se basa fundamentalmente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico. El método permite combinar los factores que producen e influyen en los

caudales como es la precipitación, evaporación, el almacenamiento y la función de agotamiento natural de la cuenca, para el cálculo de las descargas en forma de modelo matemático. Según Luzt Scholz (1980), menciona que los conceptos en la que se fundamenta el modelo son los siguientes:

2.2.1 Balance hídrico

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual expresada en mm/mes se puede describir de la siguiente forma: (Aguirre M., 1992).

$$Q_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (2.6)$$

Donde:

Q_i = Caudal mensual (mm/mes)

P_i = Precipitación total mensual sobre la cuenca (mm/mes)

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención en la cuenca (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

El cálculo por modelo tiene la ventaja de poder constatar la influencia de cada componente del balance hídrico y, en consecuencia, tener la posibilidad de calibrar el modelo por aforos (Aguirre M., 1992).

2.2.2 Coeficiente de escurrimiento

Se denomina coeficiente de escurrimiento al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma (lluvia total). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial. El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y es función de las características del terreno (naturaleza, vegetación, permeabilidad, inclinación y humedad inicial del suelo) y de la zona (temperatura, intensidad y duración de la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y dimensiones de la cuenca). Los factores indicados se influyen mutuamente, siendo complicado el análisis aislado de cada uno de ellos.

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento (c); se tiene el método que ha sido presentado por L. Turc (FAO 56 PM):

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (2.7)$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P = Precipitación Total anual (mm/año)

D = Déficit de escurrimiento (mm/año)

2.2.3 Precipitación Efectiva

Vázquez, (2000); menciona que, durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio “suelo”, la precipitación o pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el total) del contenido de agua en el suelo; Pero parte de la lluvia de que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de ésta; la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación.

Para el cálculo de la precipitación efectiva se analizan en dos formas dependiendo del requerimiento del estudio como: precipitación efectiva desde el punto de vista para cultivos (Método propuesto por la FAO) y la precipitación efectiva desde el punto de vista hidrológico.

Según Aguirre (1992); en cuanto la precipitación desde el punto de vista para cultivos se adopta los métodos de Water Power Resources Service (WPRS) y el método original de United States Bureau of Reclamation (USBR).

a) Método Water Power Resources Service (WPRS-USA)

Tabla 1

Water Power Resources Service (WPRS)

Incremento de Precipitación (mm)	% de la Precipitación efectiva (PE)
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
>155	5

Fuente: PLAN MERIS II (1980): Generación de Caudales Mensuales en la sierra peruana – Lutz Scholz

b) Método United States Bureau of Reclamation (USBR)

Tabla 2

United States Bureau of Reclamation (USBR)

Precipitación total mensual (mm)	Porcentaje del aumento (%)	Precipitación efectiva acumulada (mm)
0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.5 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 72.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 70	83.8 - 102.9
127.0 - 152.4	Oct - 40	86.4 - 118.1
>152.4	0 - 10	86.4 - 120.6

Fuente: PLAN MERIS II (1980) – Parámetros de calibración para la sierra peruana – Lutz Scholz

LUTZ SCHOLZ (1980), Menciona que, para el cálculo de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calcula para un coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escurrimiento. Para estudios hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR.

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (2.8)$$

Donde:

PE = Precipitación efectiva (mm/mes)

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

Ai = Coeficiente del polinomio

2.2.4 Retención de la cuenca

Suponiendo que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas: (Aguirre M., 1992).

$$R_i = CM_i - P_i \quad (2.9)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.10)$$

Donde:

CMi = Caudal mensual (mm/mes)

PEi = Precipitación Efectiva Mensual (mm/mes)

Ri = Retención de la cuenca (mm/mes)

Gi = Gasto de la retención (mm/mes)

Ai = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Ri = Gi para valores mayores que cero (mm/mes)

Ri = Ai para valores menores que cero (mm/mes).

Ambas ecuaciones son contribuciones hídricas al caudal, por tanto, sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total R de la cuenca para el año promedio, en la dimensión de (mm/año).

2.2.5 Relación entre Descargas y Retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad (2.11)$$

Donde:

Q_t = Descarga en el tiempo t

Q_0 = Descarga inicial

a = Coeficiente de agotamiento

t = tiempo

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real.

2.2.6 Coeficiente de Agotamiento

Mediante la ecuación anterior se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca. Los análisis de las observaciones disponibles muestran, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana.

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se

puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

Tabla 3
Cálculo de los Coeficientes de Agotamiento "a"

Características de la Cuenca	Relación
Agotamiento muy rápido, por temperatura elevada > 10° C y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana.	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.034$
Agotamiento rápido, por retención entre 50 y 80 mm/año	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.030$
Agotamiento mediano, por retención reducida mediana (alrededor 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados).	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.026$
Agotamiento reducido, por alta retención (arriba 100 mm/año) y vegetación mezclada	$a = -0.00252 * Ln(AR) + 0.023$

Fuente: PLAN MERIS II (1980) – Parámetros de calibración para la sierra peruana – Lutz Scholz

Donde:

“a” = Coeficiente de agotamiento por día,

AR = Área de la cuenca (km²)

2.2.7 Almacenamiento Hídrico

Se tienen tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- * Acuíferos
- * Lagunas y pantanos
- * Nevados

Todos los valores del almacenamiento hídrico producido por el efecto de la retención en la cuenca son recomendados por el modelo. En el siguiente cuadro se muestra la lámina de agua almacenada en los tres tipos de almacenes hídricos.

Tabla 4

Lámina de Agua acumulada en los tres tipos de almacén Hídrico

Tipo	Lamina acumulada (mm/año)		
Napa Freática	Pendiente de la Cuenca		
	2%	8%	15%
	300	250	200
Lagunas – Pantanos	500		
Nevados	500		

*Fuente: PLAN MERIS II (1980) Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana – Lutz Scholz
Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones*

2.2.8 Gasto de la Retención

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio por siguiente expresión:

$$G_i = \left[b_i / \sum_{i=1}^m b_i \right] R \quad (2.12)$$

Donde:

b_i = Es la relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de la retención).

$\sum_{i=1}^m b_i$ = Sumatoria de la relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial (Coeficiente del gasto de la retención),

G_i = Es el gasto mensual de la retención (mm/mes), y

R = Retención de la cuenca (mm/mes)

2.2.9 Restitución

Se utiliza como referencia los valores de la Tabla 5, para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés.

$$R_i = \left(r_i / \sum r_i \right) \cdot A \quad (2.13)$$

$$r_i = r / 100 \quad (2.14)$$

Donde:

R_i = Proporción del agua de lluvia que entra en el almacén hídrico para el mes (i)

A = Almacenamiento hídrico

r = Almacenamiento hídrico (mm/año)

r_i = Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (r %)

Tabla 5

Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores en%)

REGIÓN	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
CUSCO	0	5	35	40	20	0	100
HUANCAVELICA	10	0	35	30	20	5	100
JUNIN	10	0	25	30	30	5	100
CAJAMARACA	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: PLAN MERIS II (1980)– Parámetros de calibración para la sierra peruana - LUTZ SCHOLZ

2.2.10 Abastecimiento de la Retención

Aguirre (1992); Comparando cuencas vecinas respecto a la lámina de agua que entra en la retención de la cuenca se puede demostrar que el abastecimiento durante la estación lluviosa es casi uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática.

Se determina el abastecimiento de la retención experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio o por similitud con cuencas vecinas

Según Aguirre (1992); la lámina de agua que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de un déficit mensual de la precipitación efectiva mensual y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \quad (2.15)$$

Donde:

A_i = Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

a_i = Coeficiente de abastecimiento (%).

R = Retención de la cuenca (mm/año)

En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Almacenamiento hídrico durante la epoca de lluvia- (Valores a 1 %)

REGION	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junin	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: PLAN MERIS II (1980) – Parámetros de calibración para la sierra peruana - LUTZ SCHOLZ

2.2.11 Determinación del Caudal Mensual para el Año Promedio

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual se calcula a partir de la ecuación del balance hídrico, tomando en cuenta la precipitación total mensual y el déficit de escurrimiento (Aguirre,1992).

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.16)$$

Donde:

CM_i = Caudal del mes i (mm/mes)

PE_i = Precipitación efectiva del mes i (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención del mes i (mm/mes)

A_i = Abastecimiento del mes i (mm/mes)

2.2.12 Generación de Caudales Mensuales para Períodos Extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden, según las ecuaciones siguientes, con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva:

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (2.17)$$

$$Q = g(PE_t) \quad (2.18)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria.

$$Z = z(S)\sqrt{(1-r^2)} \quad (2.19)$$

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1-r^2} \quad (2.20)$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

Donde:

Q_t = Caudal del mes t

Q_{t-1} = Caudal del mes anterior

PE_t = Precipitación efectiva del mes

$B1$ = Factor constante o caudal básico

Se calcula los parámetros B1, B2, B3, r y S sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t , como valores independientes.

El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- * Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- * Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- * Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_o sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

2.3 Obras de Captación o Toma

Se denomina obra de toma al conjunto de estructuras que se construyen con el objeto de extraer el agua de forma controlada y poder utilizarla con el fin para el cual fue proyectado su aprovechamiento (SEGARPA, 2012).

El dimensionamiento de las obras de toma incluye como base, el conocimiento de la demanda de agua en sus diferentes usos (agrícola, ganadero o doméstico), así como los niveles de operación, mínimos y máximos, del cuerpo de agua de la fuente (presa, río, canal, corriente subsuperficial, manantial, etc.).

2.3.1 Tipos de obras de toma

Se diferencian cuatro tipos de tomas de acuerdo a la forma de captación:

1. Toma directa: Capta el agua directamente del río a un canal lateral sin la necesidad de barrajes fijos o móviles, disminuyendo así sus costos de construcción. Sin embargo, esto expone a la estructura a obstrucciones en época de avenidas, dejando pasar los sedimentos a la derivación (Mansen, 2000).
2. Toma convencional: Capta el agua por medio de una ventana lateral que funciona como orificio o vertedero cuyo caudal de captación está en función del tirante. Para tal fin, se cierra parcial o totalmente el río mediante un barraje móvil y/o fijo. Se denomina barraje fijo cuando la estructura es rígida, como el caso del concreto, y barraje móvil cuando la estructura que utilice sean compuertas (Mansen, 2000).

3. Toma móvil: Capta el agua por medio de un barraje móvil que genera carga hidráulica. Es decir, el barraje regula el nivel del agua, que depende de la época para poder captar el agua constantemente. Destaca por dejar pasar el material de arrastre (Mansen, 2000).

4. Toma tirolesa o caucasiana: Capta el agua en el fondo del río mediante un canal transversal cubierto por una rejilla que impida el ingreso del material grueso de arrastre (PROAGRO, 2010).

2.3.2 Criterios de emplazamiento:

Las obras de toma deben ser ubicadas de tal manera que el diseño cumpla ciertas condiciones. La primera de ellas se refiere al caudal de captación, este debe ser prácticamente constante durante los periodos de estiaje y avenidas. En segundo lugar, la obra debe restringir la entrada de residuos sólidos y permitir que siga su flujo por el río. Finalmente, la estructura debe garantizar las condiciones de seguridad durante su vida útil (Krochin, 1978).

Se comprende que, una cuenca ubicada a elevada altura posee un caudal pequeño, debido a que tiene una menor área de captación de precipitación; (PROAGRO, 2010). La utilidad del barraje de derivación o azud se acentúa en épocas de estiaje pues, está orientada a mantener un nivel de agua en el río, de modo que se puede derivar un caudal de derivación, teniendo un óptimo desempeño en épocas de estiaje. Para la construcción de toma tipo presa derivadora no se requiere gran área, por lo tanto, no se tiene un impacto ambiental tan negativo, asimismo, permite aprovechar el agua de un cauce natural sin modificar la fuente de alimentación, y adicionalmente permite aprovechar el flujo de agua por gravedad si se construye aguas arriba de la zona de demanda. (SAGARPA, 2017)

Para el diseño de la bocatoma se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- El caudal máximo que se tomará para el diseño debe ser entre 50 años y 100 años, para las condiciones de operación extrema.
- Para determinar una captación adecuada, se debe realizar un estudio de caudal requerido, pudiendo ser una o más ventanas.
- Para atenuar el ingreso de sólidos de fondo, se puede incluir un canal de limpia gruesa, ubicado frente a las ventanas de captación. Completando la limpia, un

conducto de purga ubicado antes de las compuertas de regulación, el caudal descargará a la poza del barraje móvil.

- La operación de captación del caudal de diseño, tendrá en cuenta que lo podrá efectuar en época de estiaje, manteniendo cerradas las compuertas del barraje móvil y durante el periodo de avenidas con la compuerta parcial o completamente abiertas.
- El diseño de la estructura vertedora a proyectarse en el cauce del río, deberá permitir el paso de la avenida máxima de diseño, mediante la acción combinada entre el barraje fijo y el móvil, cuyo salto hidráulico deberá estar contenido dentro de los muros de encauzamiento y poza disipadora. Aguas abajo se deberá contemplar una protección de enrocado. (Dávila y Vega 2018)

2.3.3 Componentes de la bocatoma tipo convencional:

Las partes principales de una bocatoma convencional son las siguientes:

- Barraje

Es una estructura de derivación que se coloca transversalmente al río, dicha estructura tiene la función de elevar el nivel del agua del río para así obtener el caudal necesario para el funcionamiento de la bocatoma.

- Ventana de captación

La captación de agua se realiza mediante una abertura llamada ventana de captación debido a que se encuentra a una altura de 0.60 m. del piso del canal de limpia como mínimo. Sus dimensiones son calculadas en función del caudal a derivar y de las condiciones económicas más aconsejables.

Abertura con enrejado que impide el paso de material sólido y flotante demasiado grueso, para esto el umbral de la reja se coloca a cierta altura del fondo.

El agua se capta por medio de un orificio que se encuentra en una o en ambas márgenes, este orificio es provisto de barrotes verticales o ligeramente inclinados que impiden el paso del material flotante y de piedras mayores al espacio entre los mismos.

- Colchón disipador

Sirve para disipar la energía de manera que el agua pase al cauce no revestido con velocidades lo suficientemente bajas para no producir erosiones.

Las pozas de disipación tienen como objetivo principal el de disipar la energía con que llega a esta estructura mediante el uso del resalto hidráulico, debido a un desnivel (caídas, rápidas) u otra estructura (esclusas, compuertas).

El colchón disipador del barraje en ríos con pendientes pronunciadas se diseña sin bloques de impacto ni pilares pantalla, este tipo de diseño corresponde a la Poza de Disipación Tipo V. El salto hidráulico en soleras con pendiente toma diversas formas dependiendo de la pendiente y configuración de la solera, del valor del número de Froude y del gasto específico (caudal por unidad de ancho), pero la disipación es tan efectiva como en el caso del salto hidráulico en solera horizontal. (Pardo 2019)

- Compuerta de Limpia

Ubicada en el extremo del azud al lado de la reja de entrada, la función de esta compuerta es la de mantener limpio el cauce frente a la reja, la eficiencia es pequeña. En época de avenida ayuda a regular el caudal captado.

- Canal de Limpia o barraje móvil

El canal de limpia es la estructura que permite reducir la cantidad de sedimentos que trata de ingresar al canal de derivación, así como la eliminación del material de arrastre que se acumula delante de las ventanas de captación. Su ubicación recomendada es perpendicular al eje del barraje vertedero y su flujo paralelo al del río y formando un ángulo entre 60° y 90° con el eje de la captación, a menos que se realice un modelo hidráulico que determine otras condiciones.

Para determinar el ancho del canal de limpia se debe de considerar:

- El canal de limpia debe de transportar por lo menos dos veces el caudal a derivar o debe ser igual al caudal medio del río.
- El ancho debe ser un décimo de la longitud del barraje.

- Desripiador

Después que el agua rebosa el vertedero de la ventana de captación, es necesario atrapar o decantar el material que ha podido pasar a través de la rejilla; a esta estructura que realiza la decantación y aquietamiento del agua antes que éste ingrese a la zona de compuertas de regulación, se le conoce como cámara de carga, cámara de decantación o desripiador; con este objeto la velocidad en el desripiador es relativamente baja y el paso hacia el canal debe hacerse por medio de un vertedero sumergido. (Mansen, 2012)

El desripiador se puede dimensionar tomando uno de los siguientes criterios:

- Entre la ventana de captación y vertedero sumergido de salida puede formarse un resalto sumergido por lo tanto la longitud del desripiador se podrá diseñar igualándola a la longitud de un resalto sumergido.
- La longitud es igual al de una transición que une los anchos de la reja y vertedero.

Figura 2 Ubicación Desripiador

Fuente: Mansen (2007) Diseño de Bocatomas

- Transición de entrada al canal

Al ingresar el agua por la ventana de captación este pasa hacia el desripiador que es una estructura ancha al inicio y se va angostando hasta entregar el flujo al canal principal que generalmente tiene una sección más estrecha. Por lo tanto, es necesario intercalar una transición entre los dos para evitar que haya grandes pérdidas de energía entre la ventana de captación y el canal.

- Canal o túnel

Una vez que se ha logrado captar el agua del río, se procede a poder derivarla, por ello se puede hacer uso de un canal o túnel de manera que conduce el agua hacia el objetivo deseado, en este caso, al área de riego.

- Muros de encauzamiento

Son estructuras que permiten encauzar el flujo del río entre determinados límites con el fin de formar las condiciones de diseño preestablecidas (ancho, tirante, remanso, etc.).

Se pueden construir de concreto simples o armados, el dimensionamiento se basa en poder controlar el posible desborde del máximo nivel del agua, esto ayuda a que se evite la socavación de las estructuras de captación.

Al momento de diseñar el muro de encauzamiento se debe tener en cuenta el tirante máximo y el borde libre, de manera que tenga una altura adecuada y correcta.

Figura 3 Muros de encauzamiento

Fuente: Mansen (2007) Diseño de Bocatomas.

3 ASPECTOS GENERALES Y DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación y accesos al proyecto

- Ubicación política

El proyecto estudiado políticamente se encuentra localizada en los centros poblados de San Pedro y Santa Cruz a 19.4 km al sureste del poblado de Puquio y a 13.9 km al noroeste del proyecto Apumayo, en la intersección de los ríos Viscac y Yanamayo, entre los cerros Palllcca Cancha y Ccello Ccasa en la jurisdicción de la comunidad campesina de San Pedro, distrito de Chaviña, provincia de Lucanas y departamento de Ayacucho.

- Ubicación Geográfica

El área de influencia hídrica del río San Pedro, geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas UTM referenciales (Datum PSAD 56 - Zona 18S): 608 000 y 624 000 Este y 8 360 000 y 8 376 000 Norte.

La cuenca del río Acarí, geográficamente, se encuentra ubicado entre los meridianos 74° 17' 03" y 74° 38' 31" de longitud oeste y los paralelos 14° 16' 04" y 15° 39' 35" de latitud Sur.

Figura 4 Ubicación geográfica del distrito de San Pedro

Fuente: Google Earth (2016) Derechos reservados

- Ubicación hidrográfica

El río San Pedro, hidrográficamente se encuentra localizado en la cuenca del río Acarí, unidad hidrográfica que forma parte de la vertiente del Pacífico.

La cuenca del río Acarí, tiene una dirección suroeste, limitando por el oeste con la cuenca del río Grande, por el norte con la cuenca del río Pampas, por el sureste con la cuenca del río Yauca, y, por el suroeste con la intercuenca del río Lomas y el océano Pacífico. El plano de ubicación hidrográfica de la cuenca está detallado en el Plano Mp-02 ubicada en el Anexo 1 (Planos).

- Acceso al proyecto

Se puede acceder al Proyecto desde la ciudad de Lima por vía terrestre hasta la ciudad de Puquio, por medio de una carretera asfaltada; para luego proseguir a través de una carretera afirmada desde la ciudad de Puquio hasta el centro poblado de San Pedro y finalmente a través de la misma carretera afirmada se llega hasta el Proyecto, como se puede apreciar en la figura 5 Accesos al proyecto San Pedro. La distancia desde la ciudad de Lima se encuentra detallada en la Tabla 7 Cuadro resumen de acceso al proyecto.

Tabla 7
Cuadro de resumen de acceso al Proyecto

Tramo	Distancia (km)	Vía	Tiempo (h)
Lima – Nazca	450	Vía asfaltada	6.00
Nazca – Puquio	155	Vía asfaltada	3.00
Puquio – San Pedro	75	Carretera afirmada	2.00
San Pedro – Proyecto	30	Trocha carrozable	1.00
Total	710		12.00

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados.

Figura 5 Accesos al proyecto San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (usando software Arcmap 10.3)

3.2 Situación Demográfica

- Población total y población servida

San Pedro tiene una población de 3317 habitantes según el censo realizado por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) el año 2017. De los 3317 habitantes de San Pedro, 1663 son mujeres y 1654 son hombres. Por lo tanto, el 49,86 % de la población son hombres y el 50,14% mujeres. Resumen de la población de San Pedro:

Tabla 8
Resumen de Población San Pedro – Censo 2017

Dato	Valor
Población total	3317
Hombres	1654
Mujeres	1663

Fuente: INEI (2017) Resultados Definitivos: Censo Nacional 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas

La población servida es un 90% del total ya que como se mencionó anteriormente gran parte de la economía de la zona basa sus ingresos en la agricultura.

3.3 Diagnóstico General De La Situación Actual De La Zona De Estudio

3.3.1 Características del sistema

Es importante mencionar que la principal fuente de agua para el riego de áreas cultivables dentro de la influencia de los poblados de San Pedro y Santa Cruz son las aguas del río San Pedro perteneciente a la cuenca Acarí, ya que el curso del río atraviesa por medio de ambas comunidades.

El sistema de riego actual no cuenta con ninguna estructura de captación, el agua de riego es captado directamente del río hacia un canal de tierra, este canal principal abastece de agua a todos los campos de la comunidad. El sistema de riego que actualmente se utiliza es el volumétrico por inundación y/o gravedad, lo que para este tipo de zona es común el riego por horas por cada beneficiario.

Figura 6 Panorámica de la Subcuenca San Pedro

Fuente: Google Earth (2016) Derechos reservados

Foto 1 Acequia de distribución existente en la comunidad San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2017) Todos los derechos reservados.

3.3.2 Nivel de satisfacción de la demanda (área regable y área regada)

En la zona de estudio existen aproximadamente 1040 has. de campos cultivables, pero la deficiente situación de la infraestructura hace que no llegue a todas las áreas de riego en la parte baja, es por ello que a la fecha solo un promedio del 40% del total del área de cultivo sea regada en época de estiaje.

Figura 7 Áreas de cultivo de la comunidad de San Pedro

Fuente: Google Earth (2016) Derechos reservados

3.3.3 Deficiencias del sistema

El sistema está constituido por una bocatoma rustica y un canal de longitud aproximada de 20 Km. (principal y laterales), el cual conduce las aguas captadas en la bocatoma artesanal San Pedro. A lo largo del trayecto, el sistema presenta deficiencias de captación y conducción, los tramos son de tierra y de material suelto, con problemas de filtraciones y rebose de agua por tramos angostos.

Características del sistema:

- Captación

La captación es de manera rústica construida a base de piedras y champas existentes en el lugar, cuenta con un barraje de piedras que requiere ser mejorado ya que se encuentra deteriorado y no cumple adecuadamente con la derivación del agua de riego, en esta zona existe la presencia de roca fija.

Foto 2 Bocatoma San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2017) Todos los derechos reservados.

- Conducción

La conducción está dada por un canal de tierra, realizado por miembros de las comunidades campesinas de San Pedro y Santa Cruz. Este canal principal consta de aproximadamente 8 km. de longitud y posee una capacidad de conducción aproximada de 400 l/s., la eficiencia de conducción es de 50%.

3.4 Información Meteorológica, Cartográfica y Geológica

3.4.1 Topografía del proyecto

La información cartográfica básica utilizada para generar los mapas temáticos del estudio hidrológico del río San Pedro, se sustenta en:

- ✓ La Carta Nacional hoja 30ñ y 30o que corresponde a las provincias de Lucanas y Parinacochas a escala 1:100,000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional - IGN.
- ✓ Inventario nacional de lagunas y represamientos, elaborados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales - ONERN (1980), hoja 30ñ y 30o que corresponde a Lucanas y Parinacochas.
- ✓ Información cartográfica y temática complementaria elaborada por el proyecto Minero Apumayo.

3.4.2 Geología

- Geología Regional

El estudio geológico del área de estudio estaba basado del “Estudio de Geológico de la presa Yanamayo”, el cual ha servido de base para las descripciones geológicas de la presente investigación.

El área donde se pretende realizar el proyecto corresponde regionalmente a una base estratigráfica constituida por rocas del grupo Yura, suprayaciendo al grupo Yura afloran las calizas de la Fm. Arcurquina, del Cretáceo superior. La secuencia continua con rocas del Paleoceno y Oligoceno inferior pertenecientes a la Fm. San Pedro, flujos volcánicos Andesíticos, aglomerados del grupo Tacaza y tobas de la Fm. Castrovirreyna, del Paleoceno medio – Mioceno inferior. Suprayaciendo a esta última familia se ubica el episodio volcánico del Mioceno medio - Plioceno inferior: Formaciones Huaylillas, Alpabamba, Aniso y Caudalosa. La secuencia continua con las rocas de la Fm. Caudalosa y del Gpo. Barroso del Plioceno medio - Pleistoceno inferior. En el tope estratigráfico se encuentran una serie de depósitos cuaternarios: Morrénicos, fluvioglaciarios, etc.

Localmente afloran andesitas, autobrechas y brechas craquel de composición andesítica del grupo Tacaza, que localmente presentan débil a moderada alteración propilítica, también se presentan estructuras tipo diques de calcita, diques de sílice calcedónica. El principal sistema de fracturamiento es NE, con rumbos variables de N 70° E a N 78° E y buzamientos de 75° a 85° al SE.

Foto 3 Afloramiento de andesita del Grupo Tacaza

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados.

3.4.3 Meteorología

La climatología de la zona presenta un clima con dos estaciones bien diferenciadas y una estación de transición, la primera es la estación lluviosa que va desde el mes de enero hasta el mes de abril (04 meses); también se presenta la estación de seca desde el mes de mayo hasta el mes de agosto (04 meses) y la estación de transición con presencia irregular de lluvias desde el mes de septiembre hasta diciembre (04 meses).

Asimismo, para conocer el comportamiento de las variables meteorológicas del ámbito de influencia directa e indirecta del proyecto, existe una red compuesta por 17 estaciones meteorológicas cercanas al proyecto que cuentan con registro histórico. Se verifica que la estación meteorológica más cercana al proyecto es la estación San Pedro. Por otra parte, la estación meteorológica de Cecchapampa se localiza en el ámbito de las áreas de cultivo cercanas al proyecto, por lo que los registros de esta estación caracterizan con mayor aproximación la climatología de esta zona. En el siguiente cuadro se presenta las estaciones meteorológicas cercanas al proyecto con su respectiva ubicación UTM y altitud.

Tabla 9
Estaciones meteorológicas cercanas al proyecto

Ord	Estación	Este UTM	Norte UTM	Altitud (M.S.N.M)
1	Urayhuma	654400	8385409	4170
2	Pampa Galeras	564607	8378437	3950
3	Pampahuasi	580827	8398667	3650
4	Pampamarca	586311	8426301	3400
5	Cceccaña	607715	8385659	4100
6	Lucanas	582573	8383913	3375
7	Puquio	593309	8374657	3215
8	Paucacorrall	596913	8378330	4060
9	Cecchapampa	607600	8359848	3900
10	Huarato	546527	8310269	400
11	Acarí	541136	8297375	200
12	San Pedro	596838	8367237	3100
13	Saisa	564498	8348910	3097
14	Coracora	630774	8339420	3200
15	Sancos	612827	8333981	2721
16	Carhuaniillas	636076	8326483	3497
17	Sandevado	578958	8385737	3256

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

Se determinó el número de estaciones presentes en la Sub Cuenca San Pedro y se calculó el área de influencia de las estaciones meteorológicas por medio del método de polígonos de Thiessen dentro del área de influencia del proyecto, como se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 10
Estaciones Meteorológicas influyentes en el proyecto

N°	Estación	Área (km2)
1	San Pedro	49,366
2	Cecchapampa	211,104
3	Puquio	0,735
4	Ceccana	16,384
TOTAL		277,589

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

Figura 8 Polígonos de Thiessen para la subcuenca San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando Información del SENAMHI)

Se observa en la figura 8, que la estación Cecchapampa presente una mayor área de influencia en el proyecto, por lo cual esta estación será utilizada para poder determinar algunos indicadores meteorológicos para la zona de estudio.

- **Temperatura**

La temperatura es el parámetro que indica el mayor o menor grado de calor que existe en una zona, por lo que, su determinación es uno de los pasos previos de todo el estudio climático. Para caracterizar el régimen térmico del área de influencia del proyecto, se ha utilizado los datos históricos de temperaturas media, máxima y mínima registradas en las estaciones meteorológicas de influencia en el proyecto.

En el siguiente cuadro se resumen las temperaturas máximas mensuales media del área de influencia del proyecto.

Tabla 11

Temperatura Máxima Histórica (°C) 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2019	18.323											
2018	16.907	16.779	16.727	17.333								
2017	16.232	16.455	15.8	16.907	18.026	17.327	19.174	18.897	19.36	19.271	18.08	17.916
2016		19.483	19.794	18.9								
2015	18.361	17.229	16.813	18.187	18.135	19.507	19.426	19.884	20.28	20.535	20.033	21.142
2014	17.594	17.8	16.581	19.093	17.981	20.22	19.606	18.723	18.98	19.316	18.76	18.368
2013	18.323	16.864	16.935	18.867	17.445	18.147	18.665	18.942	24.993	18.413	18.207	17.548
2012	16.729	15.807	17.142	16.667	19.297	18.32	19.052	19	19.653	18.516	18.38	16.6
2011	15.839	15.557	15.794	16.773	18.529	17.6	17.568	18.626	19.127	17.445	17.88	16.948
Promedio	17.288	16.997	16.948	17.841	18.235	18.52	18.915	19.012	20.399	18.916	18.557	18.087

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

Del cuadro anterior se puede deducir que regionalmente la temperatura máxima media presenta una tendencia uniforme durante los años de registros analizados, con rangos de variación que fluctúan entre 15.55 °C y 24.99 °C.

En el siguiente gráfico se muestra la distribución mensual de la temperatura mínima media en el área de influencia del proyecto.

Tabla 12

Temperatura Mínima Histórica (°C) 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2019												
2018	3.533	3.9	4.84	4.087								
2017	6.973	8.766	6.413	4.597	3.3	1.627	1.742	1.206	3.747	3.6	3.04	3.871
2016		8.766	8.129	6.487								
2015	6.11	6.679	6.168	5.673	3.097	3.107	1.523	4.183	4.885	6.374	6.747	8.51
2014	5.774	5.107	5.852	5.147	1.852	2.707	3.084	3.303	4.433	5.439	4.493	5.742
2013	6.665	6.779	5.477	3.267	3.335	2.42	3.271	3.148	3.68	4.058	3.927	6.135
2012	6.116	6.586	6.394	5.26	2.729	2.34	2.697	2.406	4.967	4.619	5.347	6.226
2011	6.284	6.8	5.097	5.187	4.145	2.68	2.355	3.284	4.61	3.477	5.033	5.787
Promedio	5.922	6.673	6.046	4.963	3.076	2.48	2.445	2.922	4.387	4.595	4.764	6.045

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

Como se puede observar en el cuadro anterior, la temperatura mínima media en el área de influencia del proyecto muestra una pronunciada estacionalidad, presentando valores mínimos entre los meses de junio y julio teniendo un mínimo de 2.34 °C.

- Humedad Relativa

La humedad relativa, aunque menos importante que la temperatura, es un factor ecológico fundamental, en el sentido propio del término, es la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera; por lo general se expresa como humedad relativa del aire, es decir, la relación en porcentaje de la presión real de vapor de agua a la presión de vapor saturante a la misma temperatura.

Tabla 13

Humedad Relativa % 2011- 2019 – Área de influencia del proyecto

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2019	78.633											
2018	82.150	73.201	84.845	83.841								
2017	86.538	85.409	87.013	85.382	81.232	78.996	73.997	70.044	73.355	75.081	74.432	77.554
2016		81.376	82.006	80.605								
2015	78.073	82.707	83.385	82.560	77.508	73.307	70.700	71.415	72.176	71.554	73.679	74.008
2014	83.299	70.726	82.260	78.119	73.700	71.080	71.770	72.572	73.716	76.130	72.801	76.818
2013	79.004	89.792	81.716	76.104	76.953	77.857	72.706	71.323	71.291	72.102	73.261	73.235
Promedio	81.283	80.535	83.538	81.102	77.348	75.310	72.293	71.338	72.635	73.717	73.543	75.404

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

El período mayo-noviembre muestra los valores de humedad relativa más bajos alcanzando medias mensuales de 70.70 %, mientras que entre diciembre y abril la humedad relativa se incrementa hasta alcanzar en promedio el 82.283%.

- Precipitación

Para describir la ocurrencia de precipitaciones anuales y mensuales en la zona de estudio, se analizaron los registros históricos de precipitación de estaciones meteorológicas que son operadas por SENAMHI. La caracterización pluviométrica del área de estudio se desarrolla con mayor detalle en el capítulo IV análisis hidrológico.

4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

4.1 Análisis de la Demanda de Agua

La determinación de la demanda de agua para riego de las comunidades de San Pedro y Santa Cruz, tiene como principal objetivo el cálculo de los volúmenes de agua que necesita las comunidades para fines agrícolas, asimismo para la determinación del balance hídrico.

Actualmente bajo riego se atienden 907 has. y para la situación con proyecto se plantea incorporar todas las áreas de riego que son 1040 has. El cálculo de la demanda hídrica para riego se calculará usando la fórmula 2.1 del Capítulo 2.

Para el cálculo de la evapotranspiración referencial se usará el programa Cropwat, el cual desarrolla la ecuación 2.2. de Penman – Monteith (Capítulo 2).

Tabla 14
Evapotranspiración Referencial

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	5.9	17.1	81	4	8.2	23.2	3.87
February	6.7	17.0	80	4	7.4	21.7	3.64
March	6.0	16.9	84	4	7.6	21.0	3.45
April	5.0	17.8	81	4	8.5	20.4	3.19
May	3.1	18.2	77	4	9.4	19.5	2.80
June	2.5	18.5	75	4	9.7	18.6	2.54
July	2.4	18.9	72	4	9.9	19.4	2.67
August	2.9	19.0	71	4	9.8	21.2	3.09
September	4.4	20.4	73	4	10.1	24.0	3.81
October	4.6	18.9	74	4	9.5	24.6	4.01
November	4.8	18.6	74	4	9.6	25.3	4.15
December	6.0	18.1	75	4	8.7	23.9	4.00
Average	4.5	18.3	76	4	9.0	21.9	3.43

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando el Software Cropwat)

Una vez que se tienen los valores del Eto (evapotranspiración referencial), se procede hallar la demanda de agua agrícola necesaria para nuestro proyecto, para ello se necesita:

- ✓ Evapotranspiración referencial
- ✓ Coeficiente de cultivo (Kc)
- ✓ Precipitación efectiva
- ✓ Eficiencia de riego

Tabla 15
Kc de cada cultivo

Cedula de Cultivo	Kc ponderado											
	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Cebada					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
Trigo					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
Papa	1.15	0.84								0.3	0.74	1.15
Habas	1.15	1.07	0.5							0.4	0.7	1.13
Maíz	1.15	1.10	0.75							0.30	0.70	1.15
Alfalfa	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Fuente: Estudio Integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Acari y Yauca

Tabla 16
Precipitación Efectiva

Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Tmedia(°C)	46.68	55.80	55.40	1.16	-	-	-	-	-	-	-	14.78

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

Para los meses de mayo a noviembre no se va a considerar la precipitación efectiva debido a que es muy poca o casi nula.

Los datos de eficiencia de riego fueron proporcionados por la Comisión de Regantes San Pedro y Santa Cruz, el cual tiene una eficiencia por conducción = 70%, eficiencia de riego = 40%, EFICIENCIA TOTAL = 28%.

A continuación, en la Tabla 17 y Tabla 18 se presenta la demanda hídrica de la zona agrícola de San Pedro sin proyecto y con proyecto, respectivamente.

Tabla 17

Demanda Agrícola sin proyecto – San Pedro

		FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CULTIVO	Área (has)	Eto(mm/mes)	119.97	101.92	106.95	95.70	86.80	76.20	82.77	95.79	114.30	124.31	124.50	124.00
		Eficiencia de riego	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
		PE (Puquio)	46.68	55.80	55.40									14.78
Maíz	60	Kc	1.15	1.10	0.75							0.30	0.70	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	112.11	80.21							37.29	87.15	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	56.31	24.81							37.29	87.15	127.82
		Volumen (MMC)	0.196	0.121	0.053							0.080	0.187	0.274
		Qdemandado(m3/s)	0.073	0.050	0.020							0.030	0.072	0.102
Cebada	163	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.283	0.510	0.554	0.591	0.246			
		Qdemandado(m3/s)					0.106	0.197	0.207	0.221	0.095			
Trigo	163	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.283	0.510	0.554	0.591	0.246			
		Qdemandado(m3/s)					0.106	0.197	0.207	0.221	0.095			
Papa	110	Kc	1.15	0.84								0.30	0.74	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	85.61								37.29	92.13	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	29.81								37.29	92.13	127.82
		Volumen (MMC)	0.359	0.117								0.147	0.362	0.502
		Qdemandado(m3/s)	0.134	0.048								0.055	0.140	0.187
Haba	57	Kc	1.15	1.07	0.5							0.4	0.7	1.13
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	109.05	53.48							49.72	87.15	140.12
		Req (mm/mes)	94.19	71.00	71.00							45.78	85.38	122.19
		Volumen (MMC)	0.192	0.145	0.145							0.093	0.174	0.249
		Qdemandado(m3/s)	0.072	0.060	0.060							0.035	0.067	0.093
		Q demandado de riego(m3/s)	0.279	0.158	0.080	0.000	0.211	0.394	0.414	0.441	0.190	0.119	0.279	0.383

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 18
Demanda Agrícola con proyecto – San Pedro

		FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CULTIVO	Área (has)	Eto(mm/mes)	119.97	101.92	106.95	95.70	86.80	76.20	82.77	95.79	114.30	124.31	124.50	124.00
		Eficiencia de riego	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
		PE (Puquio)	46.68	55.80	55.40									14.78
Maíz	64	Kc	1.15	1.10	0.75							0.30	0.70	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	112.11	80.21							37.29	87.15	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	56.31	24.81							37.29	87.15	127.82
		Volumen (MMC)	0.209	0.129	0.057							0.085	0.199	0.292
		Qdemandado(m3/s)	0.078	0.053	0.021							0.032	0.077	0.109
Cebada	193	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.335	0.604	0.656	0.700	0.292			
		Qdemandado(m3/s)					0.125	0.233	0.245	0.261	0.112			
Trigo	193	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.335	0.604	0.656	0.700	0.292			
		Qdemandado(m3/s)					0.125	0.233	0.245	0.261	0.112			
Papa	129	Kc	1.15	0.84								0.30	0.74	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	85.61								37.29	92.13	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	29.81								37.29	92.13	127.82
		Volumen (MMC)	0.421	0.137								0.172	0.424	0.589
		Qdemandado(m3/s)	0.157	0.057								0.064	0.164	0.220
Haba	65	Kc	1.15	1.07	0.5							0.4	0.7	1.13
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	109.05	53.48							49.72	87.15	140.12
		Req (mm/mes)	94.19	71.00	71.00							45.78	85.38	122.19
		Volumen (MMC)	0.219	0.165	0.165							0.106	0.198	0.284
		Qdemandado(m3/s)	0.082	0.068	0.068							0.040	0.076	0.106
		Q demandado de riego(m3/s)	0.317	0.178	0.089	0.000	0.250	0.466	0.490	0.523	0.225	0.136	0.317	0.435

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

En la Tabla 19 y Tabla 20 se presenta la demanda hídrica de la zona agrícola de Santa Cruz sin proyecto y con proyecto, respectivamente.

Tabla 19

Demanda Agrícola sin proyecto – Santa Cruz

		FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CULTIVO	Área (has)	Eto(mm/mes)	119.97	101.92	106.95	95.70	86.80	76.20	82.77	95.79	114.30	124.31	124.50	124.00
		Eficiencia de riego	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
		Prec.Ef. (mm)	46.68	55.80	55.40									14.78
Maíz	88	Kc	1.15	1.10	0.75							0.30	0.70	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	112.11	80.21							37.29	87.15	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	56.31	24.81							37.29	87.15	127.82
		Volumen (MMC)	0.287	0.177	0.078							0.117	0.274	0.402
		Qdemandado(m3/s)	0.107	0.073	0.029							0.044	0.106	0.150
Cebada	88	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.153	0.275	0.299	0.319	0.133			
		Qdemandado(m3/s)					0.057	0.106	0.112	0.119	0.051			
Trigo	90	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.156	0.282	0.306	0.326	0.136			
		Qdemandado(m3/s)					0.058	0.109	0.114	0.122	0.052			
Papa	53	Kc	1.15	0.84								0.30	0.74	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	85.61								37.29	92.13	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	29.81								37.29	92.13	127.82
		Volumen (MMC)	0.173	0.056								0.071	0.174	0.242
		Qdemandado(m3/s)	0.065	0.023								0.026	0.067	0.090
Alfalfa	35	Kc	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	107.97	91.73	96.26	86.13	78.12	68.58	74.49	86.21	102.87	111.88	112.05	111.60
		Req (mm/mes)	63.53	50.84	43.64	99.53	91.01	92.74	93.49	87.91	105.53	103.01	109.74	94.27
		Volumen (MMC)	0.079	0.064	0.055	0.124	0.114	0.116	0.117	0.110	0.132	0.129	0.137	0.118
		Qdemandado(m3/s)	0.030	0.026	0.020	0.048	0.042	0.045	0.044	0.041	0.051	0.048	0.053	0.044
		Q demandado de riego(m3/s)	0.201	0.123	0.049	0.048	0.158	0.260	0.270	0.282	0.155	0.118	0.226	0.284

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 20

Demanda Agrícola con proyecto – Santa Cruz

		FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
CULTIVO	Área (has)	Eto(mm/mes)	119.97	101.92	106.95	95.70	86.80	76.20	82.77	95.79	114.30	124.31	124.50	124.00
		Eficiencia de riego	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
		Prec.Ef.(mm)	46.68	55.80	55.40									14.78
Maiz	99	Kc	1.15	1.10	0.75							0.30	0.70	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	112.11	80.21							37.29	87.15	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	56.31	24.81							37.29	87.15	127.82
		Volumen (MMC)	0.323	0.199	0.088							0.132	0.308	0.452
		Qdemandado(m3/s)	0.121	0.082	0.033							0.049	0.119	0.169
Cebada	99	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.172	0.310	0.337	0.359	0.150			
		Qdemandado(m3/s)					0.064	0.120	0.126	0.134	0.058			
Trigo	98	Kc					0.56	1.15	1.15	1.06	0.37			
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Req (mm/mes)					48.61	87.63	95.19	101.54	42.29			
		Volumen (MMC)					0.170	0.307	0.333	0.355	0.148			
		Qdemandado(m3/s)					0.064	0.118	0.124	0.133	0.057			
Papa	60	Kc	1.15	0.84								0.30	0.74	1.15
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	137.97	85.61								37.29	92.13	142.60
		Req (mm/mes)	91.29	29.81								37.29	92.13	127.82
		Volumen (MMC)	0.196	0.064								0.080	0.197	0.274
		Qdemandado(m3/s)	0.073	0.026								0.030	0.076	0.102
Alfalfa	40	Kc	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
		ETc = ETo x Kc (mm/mes)	107.97	91.73	96.26	86.13	78.12	68.58	74.49	86.21	102.87	111.88	112.05	111.60
		Req (mm/mes)	63.53	50.84	43.64	39.53	34.01	29.74	33.49	38.91	45.53	50.01	49.74	49.27
		Volumen (MMC)	0.091	0.073	0.062	0.142	0.130	0.132	0.134	0.126	0.151	0.147	0.157	0.135
		Qdemandado(m3/s)	0.034	0.030	0.023	0.055	0.049	0.051	0.050	0.047	0.058	0.055	0.060	0.050
		Q demandado de riego(m3/s)	0.227	0.139	0.056	0.055	0.176	0.289	0.300	0.314	0.173	0.134	0.256	0.321

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

La Tabla 21 se presenta el resumen de los caudales mensuales totales de ambas zonas agrícolas con proyecto.

Tabla 21

Caudal mensual demandado total

Mes	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Qdemandado												
Total (m3/s)	0.544	0.317	0.145	0.055	0.426	0.755	0.790	0.836	0.398	0.270	0.573	0.756

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Figura 9 Demanda de agua total para riego con proyecto

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

De la figura 9 se puede observar que el caudal máximo de demanda o caudal necesario que se requiere para riego de toda el área de cultivo (Comisión de regantes San Pedro y Santa Cruz) con proyecto es de 0.85 m³/s, este valor se desprende del mes de agosto. Se puede verificar también que el valor mínimo de demanda es 0.27 m³/s durante el mes de octubre.

4.2 Análisis de Oferta de Agua

Se calculará la oferta hídrica del proyecto, para tal fin se realizarán estudios de generación de caudales. Para el estudio hidrológico se tuvo que recurrir a diversas fuentes de información como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). El principal inconveniente para realizar los estudios hidrológicos en cuencas de zonas rurales, y en general en cuencas de la sierra del Perú, es que generalmente no se cuenta con la información de estaciones hidrométricas para obtener caudales medios. En el caso particular de la Subcuenca San Pedro se determinó la falta de información hidrométrica extendida del río por lo cual se realizará la generación de caudales medios.

4.2.1 Características de la subcuenca del Río San Pedro

El curso principal lo constituye el río San Pedro, cuya fuente de recarga superficial es la laguna represada Toroccocha; tiene como afluentes principales a los ríos Yanamayo y Ccollpa Mayo; también recibe aportes de agua de la quebrada Yuracjasa en su margen derecha. (INRENA, 2004).

a) Parámetros físicos y morfológicos de la Subcuenca San Pedro

De acuerdo a la información disponible, la subcuenca San Pedro tiene las siguientes características fisiográficas y morfológicas. (Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo).

Tabla 22

Parámetros físicos de la Sub Cuenca San Pedro

Cota Máxima (m.s.n.m.)	Cota Máxima Río (m.s.n.m.)	Cota Mínima (m.s.n.m.)	Lrío (km.)	Sprom (m/m)
4836	4450.00	2275	42.10	6.08%

Fuente: Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo (2012)

Tabla 23

Parámetros morfológicos de la Sub Cuenca San Pedro

Área (km2)	Perímetro (km.)	Altura Media (m.s.n.m.)	Índice de Compacidad (Ic)	Factor de Forma (Ff)
291.45	115.93	4067.70	1.91	0.16

Fuente: Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo (2012)

Foto 4 Parte alta de la Subcuenca San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

b) Curva Hipsométrica del Río San Pedro

A continuación, se presenta la curva hipsométrica de la Sub cuenca San Pedro, esta fue obtenida a través de un análisis y modelamiento de delimitación hidrológica hecho en el

programa ArcMap 10.3. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas en porcentaje de la superficie total de la cuenca.

Tabla 24
Elevaciones y Áreas de la Subcuenca San Pedro

Elevación Ei	Área entre cotas	Área sobre la elevación Ei	(Ei-Emin) / (Emax-emin) *100	(Ai/Ac) *100
4836				
4600	0,628	0,628	90,78	0,22
4400	17,248	17,876	82,98	6,13
4200	73,786	91,662	75,17	31,45
4000	83,019	174,681	67,36	59,94
3800	76,422	251,103	59,55	86,16
3600	11,122	262,225	51,74	89,98
3400	5,24	267,465	43,93	91,77
3200	7,344	274,809	36,12	94,29
3000	4,24	279,049	28,31	95,75
2800	5,876	284,925	20,50	97,76
2600	3,094	288,019	12,69	98,82
2400	2,724	290,743	4,88	99,76
2275	0,706	291,449	0,00	100
Elevación media de la cuenca		4067,70 m.s.n.m.		

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando Software Arcmap 10.3)

Figura 10 Curva Hipsométrica de la Subcuenca San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2017). Todos los derechos reservados. (Usando Software Arcmap 10.3)

De la Figura 10 de la Curva Hipsométrica de la Subcuenca San Pedro, se puede inferir que el 90% del área total de la cuenca se encuentra por encima de los 3600 m.s.n.m. Gracias a este gráfico podemos ver que la Subcuenca San Pedro al ser una cuenca que posee una mayor cantidad de área a mayor altura es posible afirmar que posee una alta actividad y un gran potencial erosivo. De acuerdo con Strahler citado por (Llamas 1993; Campos 1992), este tipo de curvas representan una cuenca geológicamente joven con alta actividad. Los planos de delimitación geográfica de la subcuenca San Pedro están especificados en el plano MP-01 detallado en el Anexo 01 – Planos.

4.2.2 Caudales Medios Mensuales del Río San Pedro

Existen diferentes modelos hidrológicos para transformar datos de precipitación a escurrimiento, habiéndose utilizado en la presente investigación, el modelo hidrológico de Lutz Scholz, dado que el mismo ha sido calibrado para las cuencas de la sierra del Perú. En efecto, el referido modelo ha sido estudiado y calibrado en 19 cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, y es aplicable generalmente para pequeñas y medianas unidades hidrográficas con escasa información hidrométrica (PLAN MERIS II, 1980). Para la presente investigación ha sido seleccionado por que la zona de estudio tiene las características y condiciones para el cual ha sido establecido el modelo. El proceso de análisis del modelo se encuentra descrito en la Tabla 25.

Tabla 25

Metodología de análisis del modelo Lutz Scholz

MODELO LUZT SCHOLZ		
Análisis cartográfico y estadístico de la información	Aplicación de los modelos determinísticos parciales	Generación de caudales para un periodo extendido
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis cartográfico de la cuenca. • Análisis y regionalización de la información hidrometeorológica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación media. • Coeficiente de escurrimiento. • E.T.P • Precipitación efectiva. • Fundamentos del balance hídrico. • Periodos del ciclo Hidrológico. • Cálculo de la retención en la cuenca. • Gastos de la retención y abastecimiento de la retención. • Caudal para el año promedio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación con el modelo marcoviano. • Validación mediante pruebas estadísticas a la media y desviación estándar.

Fuente: Tarazona (2012) Generación de descargas mensual de en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz

El modelo de Lutz Scholz (1980) interactúa entre modelos determinísticos y estocásticos parciales con la finalidad de generar un caudal promedio característico en la cuenca; para luego extender la serie con un modelo puramente estocástico como es el modelo Marcoviano de primer orden.

- Precipitación media de la Subcuenca San Pedro

Como primer paso se calculará la precipitación media en la cuenca de estudio, para ello utilizaremos el método de polígonos de Thiessen. Este método se puede utilizar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas.

$$P_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * A_i}{A_t}$$

Donde:

Pi: Precipitación por cada estación

Ai: Área de influencia por cada estación

At: Área total de la cuenca

La información pluviométrica que ha sido utilizada en la presente investigación corresponde a los registros de precipitación total media mensual de cuatro (4) estaciones pluviométricas que tienen influencia directa en el proyecto, las cuales son detalladas en el cuadro siguiente:

Tabla 26
Estaciones influyentes en el proyecto

N°	Estación	Periodo	Área (km2)
1	San Pedro	1964 - 2010	49,366
2	Cecchapampa	1964 - 2010	211,104
3	Puquio	1964 - 2010	0,735
4	Ceccana	1964 - 2010	16,384
	TOTAL		277,589

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información SENAMHI)

La información Pluviométrica analizada de las estaciones meteorológicas usadas en la presente investigación, fue tomada del Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo (2012), el cual realizó análisis de consistencia, doble masa, análisis de tendencias y completación de datos faltantes. Los cuadros de precipitaciones de cada estación pluviométrica utilizada están especificados en el Anexo 2 (Hidrología).

Mediante la fórmula de Thiessen se calculó la precipitación mensual promedio en base al análisis previo. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 27 y muestran la precipitación media de la subcuenca San Pedro.

Tabla 27

Precipitaciones media de la cuenca San Pedro (mm) (1964 – 2010)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	87.58	206.99	90.12	68.09	95.97	0.07	0.00	3.65	0.04	2.66	57.18	25.98	638.33
1965	188.69	190.11	119.41	35.11	8.24	0.00	0.64	18.18	4.60	18.31	12.12	41.28	636.69
1966	121.15	38.07	100.01	35.68	8.01	0.00	0.00	0.61	2.63	45.53	17.93	15.77	385.38
1967	272.00	203.31	281.08	149.35	6.12	0.00	6.12	1.29	5.82	0.00	68.65	33.85	1027.50
1968	302.88	73.41	132.17	41.08	3.26	0.00	0.00	3.70	2.86	2.15	8.20	63.44	633.15
1969	92.78	140.80	208.19	49.00	4.74	1.26	0.00	3.95	6.14	1.58	12.27	65.28	586.00
1970	241.72	132.87	131.75	34.13	22.70	0.42	0.02	3.22	22.42	12.44	6.64	25.14	633.48
1971	110.64	89.80	203.08	67.38	14.58	0.25	0.00	2.00	0.00	0.48	1.60	101.20	591.01
1972	146.69	267.15	320.79	22.67	0.08	0.46	8.28	3.34	32.11	18.37	12.94	101.72	934.59
1973	266.68	204.23	211.91	80.90	3.19	11.73	0.00	15.38	28.41	1.04	46.46	54.36	924.30
1974	228.39	204.37	126.15	54.59	4.61	1.81	0.54	31.13	2.73	0.84	8.56	16.35	680.07
1975	191.06	149.84	259.74	40.38	21.98	4.50	0.92	0.00	3.74	16.87	3.55	56.55	749.14
1976	111.06	213.96	179.62	18.79	19.43	0.00	4.59	5.65	52.56	0.27	38.40	69.64	713.98
1977	58.37	252.74	243.23	3.54	0.65	0.00	0.29	0.00	35.19	0.84	40.03	8.81	643.68
1978	70.02	32.76	100.84	47.89	12.18	0.14	0.00	4.15	1.47	20.96	26.90	27.44	344.75
1979	49.54	106.86	231.49	6.73	0.09	0.15	0.15	0.32	0.00	18.63	9.59	36.97	460.50
1980	81.21	80.91	122.97	3.96	0.00	0.71	14.43	3.18	13.87	47.43	0.47	23.71	392.86
1982	113.05	189.53	138.32	87.77	4.66	6.60	5.67	8.11	5.03	55.72	46.60	24.18	685.23
1983	91.83	45.00	90.27	59.91	4.89	2.21	0.63	4.32	6.68	5.95	21.67	46.28	379.65
1984	116.39	275.96	171.43	13.95	8.45	13.44	0.00	4.32	5.53	44.04	17.22	35.72	706.45
1985	110.62	208.73	229.89	92.62	28.09	8.73	1.88	7.05	2.59	0.00	24.40	110.85	825.44
1986	223.05	212.54	239.97	46.00	0.40	0.11	0.00	15.45	0.09	2.01	28.41	40.96	808.99
1987	164.80	62.60	135.53	73.57	1.76	0.53	4.48	9.59	1.23	10.86	6.02	44.01	514.97
1988	82.96	165.76	70.60	60.86	13.86	0.00	6.84	4.33	0.49	9.60	5.60	40.76	461.66
1989	268.81	250.64	208.47	26.05	12.42	4.09	0.06	3.45	3.71	0.18	23.18	47.14	848.22
1990	56.30	28.57	125.72	17.04	2.80	5.89	0.01	1.11	5.65	0.21	53.55	70.00	366.84
1991	103.16	103.25	118.48	53.24	4.22	4.52	2.17	8.95	5.36	4.73	133.88	61.39	603.34
1992	63.73	85.61	97.07	22.77	3.50	1.00	1.42	14.87	1.51	10.93	9.24	50.87	362.51
1993	268.35	62.84	101.27	72.68	138.96	0.98	0.18	13.96	6.36	4.03	15.57	58.37	743.53
1994	197.92	337.15	179.41	6.29	10.80	12.68	0.55	0.03	0.02	0.44	17.17	33.41	795.87
1995	213.46	40.87	105.88	14.82	37.08	0.25	0.64	0.05	10.73	6.62	13.77	16.90	461.08
1996	113.86	303.25	147.30	78.81	14.07	5.55	0.05	17.15	20.06	12.38	16.81	104.06	833.35
1997	85.60	136.43	108.03	11.07	10.31	1.84	1.54	84.07	25.55	8.40	52.69	30.01	555.53
1998	279.71	222.59	148.17	8.86	0.70	5.49	0.04	5.26	2.39	6.09	16.17	39.29	734.75
1999	164.80	320.18	218.03	46.83	3.99	0.01	0.00	0.85	1.76	65.08	15.10	26.69	863.32

2000	266.62	163.57	123.68	43.03	16.98	0.01	0.08	6.92	1.40	75.75	5.11	75.01	778.16
2001	156.87	141.10	237.65	63.61	0.31	0.09	0.44	4.97	6.55	1.13	27.08	13.12	652.93
2002	133.45	257.93	193.79	74.61	0.55	0.04	12.89	4.63	2.01	2.51	44.70	25.00	752.12
2003	106.15	127.53	122.98	37.05	32.16	0.02	0.43	2.18	0.59	5.70	138.58	129.05	702.42
2004	102.99	123.97	140.32	90.94	1.36	0.21	1.13	10.60	11.26	0.79	7.99	25.71	517.27
2005	148.67	83.25	150.97	27.03	13.68	0.47	0.23	11.46	6.72	6.06	7.39	70.22	526.15
2006	91.22	150.83	133.97	50.51	1.43	0.55	1.83	1.19	0.12	2.51	21.40	46.26	501.82
2007	75.63	126.43	160.62	76.33	9.41	0.52	2.72	1.72	3.39	3.36	17.42	33.23	510.77
2008	141.86	154.02	157.59	25.14	0.19	0.08	0.02	5.02	0.54	0.35	57.75	20.71	563.29
2009	102.98	209.46	141.06	79.71	3.42	0.00	17.21	10.17	0.32	4.71	19.79	32.68	621.51
2010	68.48	223.05	95.66	48.58	45.28	3.42	0.02	0.14	7.21	29.45	3.13	99.01	623.42
MAX.	302.88	337.15	320.79	149.35	138.96	13.44	17.21	84.07	52.56	75.75	138.58	129.05	1027.50
MED.	146.39	160.89	159.88	47.15	14.16	2.19	2.16	7.86	7.81	12.78	26.93	48.23	636.43
MIN.	49.54	28.57	70.60	3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	8.81	344.75
D.EST	72.80	80.78	57.86	30.07	24.96	3.53	3.97	13.08	11.10	18.52	29.19	28.82	166.29

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

Figura 11 Precipitación Mensual Promedio (1964-2010)

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

En la Tabla 27 y la Figura 11 se presenta el registro de la precipitación mensual promedio de un periodo de 46 años, en donde se infiere la precipitación máxima, mínima y media.

Figura 12 Precipitación promedio anual para el área de estudio Periodo 1964 – 2010

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

En la figura 12 se muestra el comportamiento de las precipitaciones promedio anuales para el área de influencia hídrica de las fuentes de agua del proyecto.

- Caudales medios mensuales

Para el presente proyecto se generará mediante el método Lutz Scholz las descargas del Río San Pedro desde el año 1964 hasta el 2010, el estudio analizará los últimos 46 años.

El método de cálculo de generación de caudales realizado fue el modelo matemático de generación del Ing. Lutz Scholz). Este modelo hidrológico es combinado por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). Fue desarrollado por el experto en hidrología, Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II. Los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

Modelo de generación de caudales (Método Luzt Scholz):

DATOS BASICOS

NOMBRE DEL PROYECTO	=	“Diseño hidráulico y estudio de rentabilidad del proyecto de la bocatoma San Pedro para abastecer las zonas agrícolas de San Pedro y Santa Cruz en la región Ayacucho.”
NOMBRE DE LA CUENCA	=	SAN PEDRO
NOMBRE DEL RÍO	=	SAN PEDRO
LUGAR DE AFORO	=	BOCATOMA SAN PEDRO

Área de la cuenca (A) en Km ²	=	291.45
Altura media de la cuenca (Hm) m.s.n.m.	=	3437.5
Alt. Est. de referencia (hr) m.s.n.m.	=	3215
Lat. Sur C.G. de la cuenca (LS)	=	14°46'59"
Long. Oeste C.G. de la cuenca (LO)	=	73°58'17"
Duración de temporada seca (días)	=	214
Precipitación Media de la Cuenca (Año)	=	636.43

a) Coeficiente de escurrimiento.

Se calculará usando las ecuaciones 2.8 descrita previamente.

Tabla 28

Cálculo de coeficiente de escurrimiento

METODO DE L TURC.

PARAMETRO		VALOR
PRECIPITACION TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	636.43
TEMPERATURA MEDIA ANNUAL ©	T	11.465
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	L	661.97655
DEFICIT DE ESCURRIMIENTO (mm/año)	D	481.72637
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	C	0.277

ECUACIONES DE COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

PARAMETRO		VALOR
PRECIPITACION TOTAL ANUAL PROMEDIO (mm/año)	P	636.43
ETP (mm/año) HARGREAVES	EP	1245.5369
DEFICIT DE ESCURRIMIENTO (mm/año)	D	486.40766
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	C	0.301

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

b) Precipitación Efectiva

Se calculará en base a la ecuación 2.9 usando los Parámetros de calibración para la sierra peruana descritos en la Tabla 30 Coeficientes para el cálculo de P.E. según curva.

Tabla 29

Curvas de precipitación efectiva de la Sub Cuenca San Pedro

P	P efectiva PE (mm)		
Mm	Curva I	Curva II	Curva III
0	-0.11	-0.42	-0.05
10	1.13	2.56	0.02
20	2.06	4.59	0.09
30	2.91	6.57	0.29
40	3.87	9.20	0.70
50	5.09	12.99	1.42
60	6.68	18.31	2.54
70	8.71	25.33	4.16
80	11.21	34.12	6.35
90	14.21	44.58	9.23
100	17.66	56.53	12.89
110	21.54	69.65	17.46
120	25.76	83.54	23.05
130	30.24	97.71	29.81
140	34.86	111.59	37.90
150	39.49	124.57	47.49
160	43.99	135.98	58.78
170	48.20	145.10	72.00
180	51.96	151.23	87.39

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 30
Coeficiente para el cálculo de P.E. Según Curva

ai	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a0	-0.047000	-0.106500	-0.417700
a1	0.009400	0.147700	0.379500
a2	-0.000500	-0.002900	-0.010100
a3	0.000020	0.000050	0.000200
a4	-5.00E-08	-2.00E-07	-9.00E-07
a5	2.00E-10	2.00E-10	1.00E-09

Fuente: PLAN MERIS II (1980): Generación de Caudales Mensuales en la sierra peruana – Lutz Scholz

Tabla 31
Precipitación Efectiva de la SubCuenca San Pedro

MES	N días del mes	P TOTAL mm/mes	Precipitación efectiva			
			PEII mm/mes	PE III mm/mes	PE I mm/mes	PE mm/mes
1	2	3	4	5	6	7
ENERO	31	146.39	37.82	120.03	43.84	51.34
FEBRERO	28	160.89	44.37	136.89	59.87	59.59
MARZO	31	159.88	43.93	135.86	58.64	59.05
ABRIL	30	47.15	4.71	11.77	1.18	5.87
MAYO	31	14.16	1.54	3.46	0.04	1.85
JUNIO	30	2.19	0.20	0.37	-0.03	0.23
JULIO	31	2.16	0.20	0.36	-0.03	0.22
AGOSTO	31	7.86	0.90	2.04	0.01	1.09
SEPTIEMBRE	30	7.81	0.89	2.02	0.01	1.08
OCTUBRE	31	12.78	1.41	3.18	0.03	1.70
NOVIEMBRE	30	26.93	2.64	5.92	0.21	3.18
DICIEMBRE	31	48.23	4.85	12.22	1.27	6.06
		636.43	143.47	434.11	165.03	

CI Y CII = 0.8355391 0.16446088

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

c) Retención de la cuenca

El experto Lutz Scholz propone tres fuentes principales para el almacenamiento hídrico de la cuenca: acuíferos (de 200 a 300 mm/año), lagunas-pantanos (500 mm/año) y nevados (500 mm/año); para los cuales propone diferentes aportes específicos en función del área de la cuenca. Siguiendo el mismo criterio del experto Lutz se utiliza la siguiente ecuación de retención de la cuenca.

$$R = 450.34 - 488108 * \Delta + 14.367 * s - 869.359 * I_p + 1.092 * A_g$$

Donde:

R: Retención promedia de la subcuenca (mm/año)

Δ : Coeficiente de escorrentía estándar

S: Pendiente media de la cuenca.

I_p : Índice de pendiente

A_g : Área de glaciares de la subcuenca en (km²)

Es importante mencionar, que el modelo permite la creación de ecuaciones empíricas regionalizadas como parte de la metodología, la cual no se está evaluando en la presente investigación.

Tenemos:

$$R = 38.81 \text{ mm/año}$$

d) Coeficiente de agotamiento

Para su cálculo del coeficiente de agotamiento, se utilizará las ecuaciones descritas en la Tabla 3 de *Cálculo de los coeficientes de agotamiento*, del capítulo marco teórico.

Tabla 32
Cálculo del coeficiente de agotamiento – Subcuenca San Pedro

AR	=	291.45
a1	=	0.019812829
a2	=	0.015699331
a3	=	0.011699331
a4	=	0.008699331

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

e) Gasto de retención

La contribución mensual de la retención se determinará usando la ecuación 2.12., considerando solo los meses secos (abril – octubre).

Tabla 33
Cálculo del gasto de retención –Subcuenca San Pedro

MES	N		Gasto	
			bi	Gi (mm/mes)
ENERO	31			
FEBRERO	28			
MARZO	31			
ABRIL	30	30	0.554	17.87
MAYO	31	61	0.301	9.71
JUNIO	30	91	0.167	5.37
JULIO	31	122	0.090	2.92
AGOSTO	31	153	0.049	1.58
SEPTIEMBRE	30	183	0.027	0.88
OCTUBRE	31	214	0.015	0.48
NOVIEMBRE	30			
DICIEMBRE	31			

SUMA = 1.202

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

f) Abastecimiento de Retención

El cálculo se realiza utilizando la ecuación 2.13 y los valores de la *Tabla 5 de Almacenamiento hídrico para época de lluvias*, descritos en el capítulo 2. Dado que el modelo no especifica porcentajes de abastecimiento para la región Ayacucho, se determina el abastecimiento de la retención experimentalmente usando como valor la relación entre precipitación promedio mensual y la precipitación anual total únicamente durante los meses lluviosos. El experto Lutz Scholz, menciona que siempre que se pueda representar en una ecuación los coeficientes de agotamiento y almacenamiento, se haga; sin embargo, para la presente Tesis se ha preferido mantener los coeficientes estimados.

Tabla 34

Cálculo del abastecimiento de retención – Subcuenca San Pedro

MES	P	Gasto	
		ai	Ai
ENERO	146.39	0.24	9.433
FEBRERO	160.89	0.27	10.368
MARZO	159.88	0.27	10.303
ABRIL	47.15	0.08	3.038
MAYO	14.16		
JUNIO	2.19		
JULIO	2.16		
AGOSTO	7.86		
SEPTIEMBRE	7.81		
OCTUBRE	12.78	0.02	0.824
NOVIEMBRE	26.93	0.04	1.736
DICIEMBRE	48.23	0.08	3.108
SUMA =	602.25	1.00	38.81

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

g) Determinación del caudal mensual para el año promedio

Se calcula utilizando la ecuación 2.17 de balance hídrico para un año promedio. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 35

Generación del caudal mensual promedio del río San Pedro en el Punto de aforo

MES	N DIAS DEL MES	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
		P TOTAL (mm/m es)	PRECIPITACION EFFECTIVA			GASTO		ABASTECIMIENTO			
			PE II (mm/ mes)	PE III (mm/m es)	PE (mm/m es)	bi	Gi (mm/ mes)	ai	Ai (mm/mes)	mm/mes	m3/s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENERO	31	146.39	37.82	120.03	51.340			0.24	9.433	41.906	4.56
FEBRERO	28	160.89	44.37	136.89	59.588			0.27	10.368	49.220	5.93
MARZO	31	159.88	43.93	135.86	59.052			0.27	10.303	48.749	5.30
ABRIL	30	47.15	4.71	11.77	5.871	0.55	17.87	0.08	3.038	20.706	2.33
MAYO	31	14.16	1.54	3.46	1.855	0.30	9.71			11.560	1.26
JUNIO	30	2.19	0.20	0.37	0.231	0.17	5.37			5.605	0.63
JULIO	31	2.16	0.20	0.36	0.225	0.09	2.92			3.143	0.34
AGOSTO	31	7.86	0.90	2.04	1.086	0.05	1.58			2.671	0.29
SEPTIEMBRE	30	7.81	0.89	2.02	1.079	0.03	0.88			1.957	0.22
OCTUBRE	31	12.78	1.41	3.18	1.698	0.01	0.48	0.02	0.824	1.351	0.15
NOVIEMBRE	30	26.93	2.64	5.92	3.182			0.04	1.736	1.447	0.16
DICIEMBRE	31	48.23	4.85	12.22	6.062			0.08	3.108	2.954	0.32
AÑO		636.43	143.4 70	434.108	191.268	1.20 2	38.81 0	1.000	38.810	191.268	21.494

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Los caudales generados mediante el análisis de Lutz Scholz necesitan ser calibrados mediante un aforo hecho en la zona de estudio. Esta calibración se debe hacer con la información de aforos o información histórica de por lo menos de 2 años para que pueda resultar ajustable al modelo planteado. En el caso de nuestro proyecto se cuenta con la información hidrométrica proporcionada por el SENAMHI de la estación hidrométrica Cecchapampa ubicada en el mismo curso del río San Pedro a 500 m del punto de aforo, durante el periodo de años de 1967-1977.

Tabla 36

Comparación del Caudal Generado y el Caudal Histórico Sub cuenca del río San Pedro

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Generado	4.56	5.93	5.30	2.33	1.26	0.63	0.34	0.29	0.22	0.15	0.16	0.32
Observado	3.69	5.92	6.50	4.06	0.69	0.35	0.30	0.23	0.27	0.37	0.41	0.86

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

Figura 13 Calibración del Modelo Sub cuenca San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información del SENAMHI)

De la figura 13 podemos inferir que los caudales para un año promedio generados con el modelo Luzt Scholz para el río San Pedro mantienen una buena correlación con los datos hidrométricos obtenidos con la estación Checcapampa, por lo que se concluye que los caudales generados se podrán utilizar en el diseño de las estructuras hidráulicas proyectadas.

h) Generación de Caudales Medios mensuales para periodos extendidos en la Sub cuenca San Pedro:

En la Tabla 37 se presenta el registro de los caudales mensuales en donde se infiere los caudales máximos y mínimos y medios generados en cada año. En la sección captación de agua, donde se tiene previsto la ubicación de la bocatoma San Pedro, las descargas medias mensuales producidas por las precipitaciones estacionales fluctúan entre la mínima de 0.089 m³/s en el mes de julio hasta la máxima de 13.89 m³/s en el mes de febrero distribuidos de acuerdo a siguiente detalle.

Tabla 37

Caudales mensuales generados del Río San Pedro (m³/s) Periodo 1964-2010

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1964	11.14	30.63	21.66	5.01	6.10	0.14	0.13	0.42	0.24	0.42	3.93	2.25
1965	18.37	29.08	24.29	2.88	0.69	0.13	0.17	1.31	0.53	1.38	1.04	3.21
1966	13.54	15.09	22.55	2.91	0.67	0.13	0.13	0.23	0.41	3.07	1.42	1.61
1967	24.32	30.30	38.77	10.26	0.56	0.13	0.51	0.27	0.61	0.25	4.66	2.75
1968	26.53	18.35	25.43	3.26	0.38	0.13	0.13	0.42	0.42	0.38	0.79	4.60
1969	11.51	24.54	32.24	3.77	0.47	0.21	0.13	0.44	0.63	0.35	1.05	4.71
1970	22.16	23.82	25.39	2.81	1.58	0.16	0.13	0.39	1.67	1.02	0.69	2.20
1971	12.79	19.85	31.78	4.96	1.08	0.15	0.13	0.32	0.24	0.28	0.37	6.97
1972	15.36	36.17	42.32	2.07	0.18	0.16	0.64	0.40	2.29	1.39	1.10	7.00
1973	23.94	30.38	32.57	5.84	0.38	0.88	0.13	1.14	2.06	0.32	3.24	4.03
1974	21.20	30.39	24.89	4.14	0.46	0.25	0.17	2.11	0.41	0.30	0.82	1.65
1975	18.54	25.38	36.86	3.22	1.54	0.42	0.19	0.19	0.48	1.30	0.50	4.17
1976	12.82	31.28	29.68	1.82	1.38	0.13	0.42	0.54	3.60	0.27	2.73	4.99
1977	9.05	34.84	35.38	0.83	0.22	0.13	0.15	0.19	2.49	0.30	2.83	1.18
1978	9.88	14.61	22.62	3.70	0.93	0.14	0.13	0.45	0.33	1.55	1.99	2.34
1979	8.42	21.42	34.33	1.04	0.19	0.14	0.14	0.21	0.24	1.40	0.88	2.94
1980	10.68	19.04	24.61	0.86	0.18	0.18	1.02	0.39	1.13	3.19	0.30	2.11
1982	12.96	29.03	25.98	6.28	0.47	0.55	0.48	0.69	0.56	3.70	3.25	2.14
1983	11.44	15.73	21.68	4.48	0.48	0.27	0.17	0.46	0.67	0.62	1.66	3.52
1984	13.20	36.98	28.95	1.51	0.70	0.99	0.13	0.46	0.59	2.98	1.37	2.86
1985	12.79	30.79	34.18	6.59	1.91	0.69	0.25	0.63	0.41	0.25	1.83	7.57
1986	20.82	31.14	35.09	3.58	0.20	0.14	0.13	1.15	0.25	0.38	2.09	3.19
1987	16.66	17.35	25.73	5.36	0.29	0.17	0.41	0.78	0.32	0.92	0.65	3.38
1988	10.81	26.84	19.92	4.54	1.04	0.13	0.55	0.46	0.27	0.85	0.63	3.18
1989	24.09	34.65	32.26	2.29	0.95	0.39	0.14	0.41	0.48	0.26	1.75	3.58
1990	8.90	14.22	24.85	1.71	0.35	0.51	0.13	0.26	0.60	0.26	3.69	5.01
1991	12.25	21.09	24.20	4.05	0.44	0.42	0.27	0.74	0.58	0.54	8.83	4.47
1992	9.43	19.47	22.29	2.08	0.40	0.20	0.22	1.11	0.34	0.93	0.86	3.81
1993	24.06	17.37	22.66	5.31	8.76	0.19	0.14	1.05	0.65	0.50	1.27	4.28
1994	19.03	42.61	29.66	1.01	0.85	0.94	0.17	0.19	0.24	0.28	1.37	2.72
1995	20.14	15.35	23.08	1.56	2.47	0.15	0.17	0.20	0.93	0.66	1.15	1.68
1996	13.02	39.49	26.79	5.70	1.05	0.49	0.14	1.25	1.52	1.02	1.34	7.14
1997	11.00	24.14	23.27	1.32	0.82	0.25	0.23	5.38	1.87	0.77	3.64	2.50
1998	24.87	32.07	26.86	1.18	0.22	0.48	0.13	0.52	0.39	0.63	1.30	3.09
1999	16.66	41.05	33.12	3.63	0.43	0.13	0.13	0.24	0.35	4.28	1.24	2.30
2000	23.94	26.64	24.67	3.39	1.23	0.13	0.14	0.62	0.33	4.94	0.60	5.32
2001	16.09	24.57	34.88	4.72	0.20	0.14	0.16	0.50	0.66	0.32	2.00	1.45

2002	14.42	35.32	30.95	5.43	0.21	0.13	0.93	0.48	0.37	0.41	3.13	2.19
2003	12.47	23.32	24.61	3.00	2.16	0.13	0.16	0.33	0.28	0.60	9.13	8.71
2004	12.24	23.00	26.16	6.49	0.26	0.15	0.20	0.85	0.96	0.30	0.78	2.24
2005	15.51	19.25	27.11	2.35	1.02	0.16	0.15	0.90	0.67	0.63	0.74	5.02
2006	11.40	25.47	25.59	3.87	0.27	0.17	0.25	0.27	0.25	0.41	1.64	3.52
2007	10.28	23.22	27.98	5.54	0.76	0.17	0.30	0.30	0.46	0.46	1.38	2.71
2008	15.02	25.76	27.71	2.23	0.19	0.14	0.13	0.50	0.27	0.27	3.96	1.92
2009	12.24	30.86	26.23	5.76	0.39	0.13	1.19	0.82	0.26	0.54	1.54	2.67
2010	9.77	32.11	22.16	3.75	2.97	0.35	0.13	0.20	0.70	2.07	0.47	6.83
MAX.	26.53	42.61	42.32	10.26	8.76	0.99	1.19	5.38	3.60	4.94	9.13	8.71
MED.	15.34	26.39	27.91	3.65	1.05	0.27	0.27	0.68	0.74	1.04	1.99	3.65
MIN.	8.42	14.22	19.92	0.83	0.18	0.13	0.13	0.19	0.24	0.25	0.30	1.18
D. EST	5.20	7.43	5.18	1.94	1.54	0.22	0.24	0.81	0.71	1.15	1.87	1.81

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información del SENAMHI)

Con la Tabla 37 se infiere que la máxima descarga ha llegado a 42.61 m³/s y la mínima a 0.13 m³/s.

Descarga máxima promedio: 27.91 m³/s

Descarga media promedio: 6.92 m³/s

Descarga mínima promedio: 0.27 m³/s

Para poder representar los caudales que sucedan en el punto de análisis, o zona de estudio la disponibilidad hídrica del río debe ser el 75% de persistencia de los caudales obtenidos con el modelo hidrológico Lutz Scholz según lo indicado el ANA en la RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 007-2015-ANA.

Tabla 38

Caudal generado con diferentes preferencias

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P(25%)	19.03	31.14	32.24	5.01	1.05	0.35	0.25	0.78	0.67	1.30	2.73	4.60
P(50%)	13.20	25.76	26.23	3.63	0.56	0.16	0.16	0.46	0.48	0.60	1.37	3.19
P(75%)	11.44	21.09	24.61	2.23	0.35	0.14	0.13	0.32	0.33	0.32	0.86	2.30
P(90%)	9.77	15.73	22.29	1.18	0.20	0.13	0.13	0.20	0.25	0.27	0.60	1.68
MED.	15.34	26.39	27.91	3.65	1.05	0.27	0.27	0.68	0.74	1.04	1.99	3.65

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

El siguiente grafico nos muestra los caudales generados a diferentes % de persistencia.

Figura 14 Caudal generado a diferentes persistencias

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

4.2.3 Caudal Ecológico

El ANA mediante resolución jefatural N° 098-2016-ANA, indica cual es la metodología para calcular el caudal ecológico, el caudal ecológico mínimo será el equivalente al caudal determinado al 95% de persistencia en el punto de interés, el estudio de determinación del caudal ecológico se realizará utilizando información estadística de los últimos 20 años, a falta de información, esta será generada utilizando el modelamiento hidrológico y estocásticos.

En el siguiente cuadro se presenta los cuadales al 95% de persistencia calculados de la generacion de caudales presentado previamente :

Tabla 39
Caudal Ecológico

% de Persistencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
MED.	15.34	26.39	27.91	3.65	1.05	0.27	0.27	0.68	0.74	1.04	1.99	3.65
P(95%)	8.90	14.61	21.66	0.86	0.18	0.13	0.13	0.19	0.24	0.25	0.37	1.45

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

4.2.4 Disponibilidad Hídrica

Para satisfacer las demandas hídricas de los usos agrícolas de las comunidades de San Pedro y Santa Cruz, la operación del sistema hídrico se realiza actualmente considerando la regulación del vaso de la laguna Torococha y los aportes que se produce el río aguas abajo de la laguna Torococha.

Los recursos hídricos con los que se disponen las comisiones de regantes, corresponden a las descargas reguladas en el vaso de la laguna Torococha, que se realizan a partir del mes de setiembre hasta finales de diciembre, siendo el caudal de 350 l/s. Otras fuentes de abastecimiento de agua son los represamientos pequeños especificados en la Tabla 40 Represamientos, que contribuyen en el riego de la zona.

- Reservorios:

En la cuenca existen varios represamientos para la regulación del agua como son: Torococha, Chimblo, San Pedro y Cabracocha, y estas son las fuentes principales de la comisión de regantes San Pedro durante el periodo de estiaje, y riegan la mayor parte de los predios de esta Comisión de Riego.

Tabla 40
Represamientos – Comisión de Regantes San Pedro

Represamiento	Espejo de Agua (m2)	Caudal de Salida (m3 /s)	Volumen Total (m3)
Torococha	190140.60	0.350	228167.00
Chimblo	14582.09	0.023	39372.00
SanPedro	3557.16	0.104	10671.00
Cabraccocha	4395.48	0.03	5275.00

Fuente: ANA (2011) Estudio de Aprovechamiento Hídrico de la cuenca del río Acari

La configuración física de operación del sistema hídrico del río San Pedro, ha tomado como fuente de disponibilidad hídrica potencialmente aprovechable el vaso de regulación de las lagunas Torococha, Chimblo, San Pedro, Cabracocha y los aportes el río durante los periodos de estiaje.

En base a los datos proporcionados y calculados obtenemos la disponibilidad hídrica del proyecto.

Tabla 41
Disponibilidad hídrica de la subcuenca San Pedro

Disponibilidad	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug
Toroccocha	0.35	0.35	0.35	0.35						0.35	0.35	0.35
Chimblo	0.02	0.02	0.02	0.02					0.02	0.02	0.02	0.02
San Pedro	0.10	0.10	0.10	0.10					0.10	0.10	0.10	0.10
Cabraccocha	0.03	0.03	0.03	0.03					0.03	0.03	0.03	0.03
Río San Pedro	0.33	0.32	0.86	2.30	11.44	21.09	24.61	2.23	0.35	0.14	0.13	0.32
Qecologico	0.24	0.25	0.37	1.45	8.90	14.61	21.66	0.86	0.18	0.13	0.13	0.19
TOTAL	0.60	0.58	1.00	1.36	2.54	6.48	2.94	1.37	0.32	0.51	0.51	0.63

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (Usando información del Estudio de Aprovechamiento Hídrico de la cuenca del río Acari)

4.2.5 Balance hídrico de la Sub cuenca San Pedro

Habiendo hallado la oferta de la cuenca y la demanda requerida para la agricultura se procede a calcular el balance hídrico del proyecto.

Tabla 42
Disponibilidad hídrica de la subcuenca San Pedro

	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
OFERTA	0.60	0.58	1.00	1.36	2.54	6.48	2.94	1.37	0.32	0.51	0.51	0.63
DEMANDA	0.40	0.27	0.57	0.76	0.54	0.32	0.15	0.06	0.43	0.76	0.79	0.84
SUPERAVIT	0.20	0.31	0.42	0.60	2.00	6.17	2.80	1.31				
DEFICIT									0.10	0.24	0.28	0.21

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Figura 15 Balance hídrico de la sub cuenca San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

De la Figura 15 y de la Tabla 42 se puede inferir que existe un déficit de agua para riego durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Es importante mencionar que para poder salvar esta diferencia se debe de construir un reservorio que almacene agua en épocas de avenida y en épocas de estiaje regule el caudal necesario y compense la diferencia existente, la proyección de este tipo de obras hidráulicas no se está evaluando en la presente investigación, pero si se recomienda su proyección y su evaluación en futuras investigaciones en la zona de estudio.

4.2.6 Análisis de Máximas Avenidas

La determinación del caudal máximo para un proyecto hidráulico constituye un paso previo al diseño de la obra, ya que dicho dimensionamiento se efectuará en base al caudal que se obtendrá para determinado tiempo de vida útil de la estructura.

El periodo de retorno de la avenida del proyecto se elige teniendo en cuenta la infraestructura, el impacto económico y sobre todo si hay zonas urbanas cercanas a proteger.

Tabla 43

Periodos de retorno según zona

Infraestructura en el río	Periodo de retorno
Ubicada sin población afectada	25 a 50 años
Con población afectada	50 a 100 años
En zonas Urbanas	200 a 500 años

Fuente: Chereque (1989) Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil.

Actualmente existen distintos métodos estadísticos para poder calcular el caudal máximo tomando en cuenta los periodos de retorno, de las varias distribuciones de valores extremos hay cuatro que tienen mayor aceptación, estas se ajustan bien al fenómeno de las crecidas de los ríos (Chereque, 1989):

- Gumbel
- Normal
- Log-Pearson III
- Log-Normal III

En las Tablas 44,45,46 y 47 se muestran los resultados del análisis de máximas descargas con las distribuciones mencionadas, para el proyecto de la bocatoma San Pedro.

Tabla 44
Caudal Máximo - Distribución Gumbel

Tr años	Probabilidad	y	K	Q (m3/s)
2	0.500	0.367	-0.164	29.238
5	0.200	1.500	0.720	34.318
10	0.100	2.250	1.305	37.682
25	0.040	3.199	2.045	41.933
50	0.020	3.902	2.594	45.086
75	0.013	4.311	2.912	46.919
100	0.010	4.600	3.138	48.216
150	0.007	5.007	3.456	50.041
200	0.005	5.296	3.681	51.334
300	0.003	5.702	3.998	53.156
400	0.003	5.990	4.222	54.447
500	0.002	6.214	4.397	55.448
1000	0.001	6.907	4.938	58.558

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 45
Caudal Máximo - Distribución Normal

Tr (Años)	Probabilidad	F(z)	K=Z	Q (m3/s)
2	0.500	0.500	0.00	30.181
5	0.200	0.800	0.84	35.008
10	0.100	0.900	1.28	37.537
25	0.040	0.960	1.75	40.238
50	0.020	0.980	2.05	41.962
75	0.013	0.987	2.22	42.939
100	0.010	0.990	2.33	43.571
150	0.007	0.993	2.47	44.376
200	0.005	0.995	2.58	45.008
300	0.003	0.997	2.71	45.755
400	0.003	0.998	2.81	46.330
500	0.002	0.998	2.88	46.732
1000	0.001	0.999	3.09	47.939

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 46
Caudal Máximo - Distribución Log Pearson Tipo III

Tr años	Probabilidad	Z	Q (m ³ /s)
2	0.500	0.000	30.181
5	0.200	0.800	34.779
10	0.100	1.280	37.537
25	0.040	1.750	40.238
50	0.020	2.450	44.261
75	0.013	2.600	45.123
100	0.010	2.950	47.135
150	0.007	3.200	48.571
200	0.005	3.400	49.721
300	0.003	3.750	51.732
400	0.003	3.770	51.847
500	0.002	3.860	52.364
1000	0.001	4.410	55.525

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 47
Caudal Máximo - Distribución Log Normal Tipo III

Tr (Años)	Probabilidad	F(z)	K=Z	Q (m ³ /s)
2	0.500	0.500	0.000	30.181
5	0.200	0.800	0.745	34.462
10	0.100	0.900	1.278	37.526
25	0.040	0.960	1.911	41.163
50	0.020	0.980	2.452	44.273
75	0.013	0.987	2.654	45.434
100	0.010	0.990	2.912	46.916
150	0.007	0.993	3.120	48.112
200	0.005	0.995	3.360	49.491
300	0.003	0.997	3.483	50.198
400	0.003	0.998	3.625	51.014
500	0.002	0.998	3.892	52.548
1000	0.001	0.999	4.485	55.956

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Para verificar si las distribuciones tienen un buen ajuste se realiza las "Pruebas de Bondad de Ajuste", para ello se aplicará la prueba de Smirnov-Kolmogorov, es una de las más aceptadas para realizar dicho ajuste. Esta prueba cae en la categoría de lo que en estadística se denominan pruebas de "Bondad de Ajuste" y mide, como su nombre lo indica, el grado

de ajuste que existe entre la distribución obtenida a partir de la muestra o datos observados y la distribución teórica que se supone debe seguir esa muestra. (Egusquiza,2010)

Esta prueba es fácil de realizar y comprende las siguientes etapas:

- a) D_n es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida.
- b) Se fija el nivel de probabilidad α , valores de 0.05 y 0.01 son los más usuales.
- c) El valor crítico D_α de la prueba debe ser obtenido de la Tabla 52 en función de α y N .
- d) Si el valor calculado D_α es mayor que el D_α , la distribución escogida se debe rechazar. (Egusquiza,2010)

A continuación, se procede hallar el valor estadístico D_n de las distribuciones aplicadas.

Tabla 48

Distribución Gumbel y Bondad de Ajuste

Año	Q(m3/s)	Orden Ascendente Q(m3/s)	Número de Orden	Frecuencia Relativa Acumulada P(x)	Frecuencia Teórico-Acumulada	Diferencia Suprema
1964	30.63	21.68	1	0.0213	0.0237	0.0024
1965	29.08	22.29	2	0.0426	0.0381	0.0044
1966	22.55	22.55	3	0.0638	0.0458	0.018
1967	38.77	22.62	4	0.0851	0.0481	0.037
1968	26.53	23.08	5	0.1064	0.0647	0.0417
1969	32.24	24.06	6	0.1277	0.1107	0.0169
1970	25.39	24.14	7	0.1489	0.1151	0.0338
1971	31.78	24.2	8	0.1702	0.1185	0.0517
1972	42.32	24.61	9	0.1915	0.1428	0.0487
1973	32.57	24.61	10	0.2128	0.1428	0.07
1974	30.39	24.85	11	0.234	0.158	0.076
1975	36.86	25.39	12	0.2553	0.1949	0.0605
1976	31.28	25.59	13	0.2766	0.2093	0.0673
1977	35.38	25.73	14	0.2979	0.2196	0.0783
1978	22.62	26.16	15	0.3191	0.2523	0.0669
1979	34.33	26.53	16	0.3404	0.2814	0.0591
1980	24.61	26.64	17	0.3617	0.2901	0.0716
1982	29.03	26.84	18	0.383	0.3062	0.0767
1983	21.68	27.11	19	0.4043	0.3282	0.0761
1984	36.98	27.71	20	0.4255	0.3774	0.0482
1985	34.18	27.98	21	0.4468	0.3995	0.0473

1986	35.09	29.03	22	0.4681	0.4839	0.0158
1987	25.73	29.08	23	0.4894	0.4878	0.0015
1988	26.84	30.39	24	0.5106	0.5852	0.0745
1989	34.65	30.63	25	0.5319	0.6018	0.0698
1990	24.85	30.86	26	0.5532	0.6172	0.064
1991	24.2	31.28	27	0.5745	0.6445	0.07
1992	22.29	31.78	28	0.5957	0.6751	0.0793
1964	24.06	32.07	29	0.617	0.6919	0.0749
1965	42.61	32.11	30	0.6383	0.6942	0.0559
1966	23.08	32.24	31	0.6596	0.7014	0.0419
1967	39.49	32.57	32	0.6809	0.7193	0.0385
1968	24.14	34.18	33	0.7021	0.7945	0.0924
1969	32.07	34.33	34	0.7234	0.8006	0.0772
1970	41.05	34.65	35	0.7447	0.8129	0.0683
1971	26.64	34.88	36	0.766	0.8214	0.0555
1972	34.88	35.09	37	0.7872	0.8288	0.0416
1973	35.32	35.32	38	0.8085	0.8367	0.0282
1974	24.61	35.38	39	0.8298	0.8387	0.0089
1975	26.16	36.86	40	0.8511	0.8812	0.0301
1976	27.11	36.98	41	0.8723	0.8842	0.0118
1977	25.59	38.77	42	0.8936	0.9207	0.0271
1978	27.98	39.49	43	0.9149	0.9321	0.0172
1979	27.71	41.05	44	0.9362	0.9516	0.0154
1980	30.86	42.32	45	0.9574	0.9633	0.0059
1982	32.11	42.61	46	0.9787	0.9656	0.0132
					Dn max	0.0924

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 49
Distribución Normal y Bondad de Ajuste

Año	Q (m3/s)	Orden Ascendente Q(m3/s)	Número de Orden	Frecuencia Relativa Acumulada P(x)	Frecuencia Teórico- Acumulada	Diferencia Suprema
1964	30.63	21.68	1	0.0213	0.0731	0.0480
1965	29.08	22.29	2	0.0426	0.0887	0.0423
1966	22.55	22.55	3	0.0638	0.096	0.0283
1967	38.77	22.62	4	0.0851	0.0981	0.0090
1968	26.53	23.08	5	0.1064	0.1124	0.0019
1969	32.24	24.06	6	0.1277	0.1477	0.0158
1970	25.39	24.14	7	0.1489	0.1508	0.0023
1971	31.78	24.2	8	0.1702	0.1533	0.0212

1972	42.32	24.61	9	0.1915	0.1704	0.0253
1973	32.57	24.61	10	0.2128	0.1704	0.0466
1974	30.39	24.85	11	0.234	0.181	0.0572
1975	36.86	25.39	12	0.2553	0.2064	0.0531
1976	31.28	25.59	13	0.2766	0.2163	0.0644
1977	35.38	25.73	14	0.2979	0.2233	0.0785
1978	22.62	26.16	15	0.3191	0.2459	0.0771
1979	34.33	26.53	16	0.3404	0.2662	0.0778
1980	24.61	26.64	17	0.3617	0.2725	0.0928
1982	29.03	26.84	18	0.383	0.2839	0.1025
1983	21.68	27.11	19	0.4043	0.2998	0.1077
1984	36.98	27.71	20	0.4255	0.3363	0.0919
1985	34.18	27.98	21	0.4468	0.3534	0.0959
1986	35.09	29.03	22	0.4681	0.422	0.0474
1987	25.73	29.08	23	0.4894	0.4254	0.0653
1988	26.84	30.39	24	0.5106	0.5143	0.0039
1989	34.65	30.63	25	0.5319	0.5306	0.0008
1990	24.85	30.86	26	0.5532	0.5462	0.0062
1991	24.2	31.28	27	0.5745	0.5745	0.0014
1992	22.29	31.78	28	0.5957	0.6077	0.0138
1993	24.06	32.07	29	0.617	0.6266	0.0118
1994	42.61	32.11	30	0.6383	0.6292	0.0069
1995	23.08	32.24	31	0.6596	0.6376	0.0196
1996	39.49	32.57	32	0.6809	0.6585	0.0197
1997	24.14	34.18	33	0.7021	0.7529	0.0546
1998	32.07	34.33	34	0.7234	0.761	0.0414
1999	41.05	34.65	35	0.7447	0.7776	0.0369
2000	26.64	34.88	36	0.766	0.7891	0.0273
2001	34.88	35.09	37	0.7872	0.7994	0.0163
2002	35.32	35.32	38	0.8085	0.8102	0.0059
2003	24.61	35.38	39	0.8298	0.813	0.0126
2004	26.16	36.86	40	0.8511	0.8733	0.0264
2005	27.11	36.98	41	0.8723	0.8775	0.0093
2006	25.59	38.77	42	0.8936	0.929	0.0389
2007	27.98	39.49	43	0.9149	0.9443	0.0325
2008	27.71	41.05	44	0.9362	0.9684	0.0345
2009	30.86	42.32	45	0.9574	0.981	0.0252
2010	32.11	42.61	46	0.9787	0.9832	0.0060
					Dn max	0.1077

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 50
Distribución Log Pearson Tipo III y Bondad de Ajuste

Año	Q max(m ³ /s)	Orden Ascendente Q(m ³ /s)	Número de Orden	Frecuencia Relativa Acumulada P(x)	Frecuencia Teórico Acumulada	Diferencia Suprema
1964	30.63	21.68	1	0.0213	0.0418	0.021
1965	29.08	22.29	2	0.0426	0.0586	0.016
1966	22.55	22.55	3	0.0638	0.067	0.003
1967	38.77	22.62	4	0.0851	0.0694	0.016
1968	26.53	23.08	5	0.1064	0.0864	0.020
1969	32.24	24.06	6	0.1277	0.1305	0.003
1970	25.39	24.14	7	0.1489	0.1346	0.014
1971	31.78	24.2	8	0.1702	0.1377	0.033
1972	42.32	24.61	9	0.1915	0.1598	0.032
1973	32.57	24.61	10	0.2128	0.1598	0.053
1974	30.39	24.85	11	0.234	0.1735	0.061
1975	36.86	25.39	12	0.2553	0.2062	0.049
1976	31.28	25.59	13	0.2766	0.219	0.058
1977	35.38	25.73	14	0.2979	0.2281	0.070
1978	22.62	26.16	15	0.3191	0.2569	0.062
1979	34.33	26.53	16	0.3404	0.2826	0.058
1980	24.61	26.64	17	0.3617	0.2904	0.071
1982	29.03	26.84	18	0.383	0.3046	0.078
1983	21.68	27.11	19	0.4043	0.3242	0.080
1984	36.98	27.71	20	0.4255	0.3682	0.057
1985	34.18	27.98	21	0.4468	0.3883	0.059
1986	35.09	29.03	22	0.4681	0.4661	0.002
1987	25.73	29.08	23	0.4894	0.4698	0.020
1988	26.84	30.39	24	0.5106	0.563	0.052
1989	34.65	30.63	25	0.5319	0.5793	0.047
1990	24.85	30.86	26	0.5532	0.5946	0.041
1991	24.2	31.28	27	0.5745	0.6219	0.047
1992	22.29	31.78	28	0.5957	0.6529	0.057
1993	24.06	32.07	29	0.617	0.6702	0.053
1994	42.61	32.11	30	0.6383	0.6726	0.034
1995	23.08	32.24	31	0.6596	0.6801	0.021
1996	39.49	32.57	32	0.6809	0.6987	0.018
1997	24.14	34.18	33	0.7021	0.7789	0.077
1998	32.07	34.33	34	0.7234	0.7855	0.062
1999	41.05	34.65	35	0.7447	0.799	0.054

2000	26.64	34.88	36	0.766	0.8083	0.042
2001	34.88	35.09	37	0.7872	0.8165	0.029
2002	35.32	35.32	38	0.8085	0.8251	0.017
2003	24.61	35.38	39	0.8298	0.8273	0.003
2004	26.16	36.86	40	0.8511	0.8748	0.024
2005	27.11	36.98	41	0.8723	0.8781	0.006
2006	25.59	38.77	42	0.8936	0.9192	0.026
2007	27.98	39.49	43	0.9149	0.9319	0.017
2008	27.71	41.05	44	0.9362	0.9534	0.017
2009	30.86	42.32	45	0.9574	0.966	0.009
2010	32.11	42.61	46	0.9787	0.9684	0.010
					Dn max	0.0801

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 51
Distribución Log Normal III y Bondad de Ajuste

Año	Q (m3/s)	Orden Ascendente Q(m3/s)	Número de Orden	Frecuencia Relativa Acumulada P(x)	Frecuencia Teórico-Acumulada	Delta
1964	30.63	21.68	1	0.0213	0.0381	0.0168
1965	29.08	22.29	2	0.0426	0.0547	0.0121
1966	22.55	22.55	3	0.0638	0.063	0.0008
1967	38.77	22.62	4	0.0851	0.0654	0.0197
1968	26.53	23.08	5	0.1064	0.0825	0.0239
1969	32.24	24.06	6	0.1277	0.127	0.0006
1970	25.39	24.14	7	0.1489	0.1311	0.0178
1971	31.78	24.2	8	0.1702	0.1343	0.0359
1972	42.32	24.61	9	0.1915	0.1567	0.0348
1973	32.57	24.61	10	0.2128	0.1567	0.056
1974	30.39	24.85	11	0.234	0.1707	0.0634
1975	36.86	25.39	12	0.2553	0.204	0.0513
1976	31.28	25.59	13	0.2766	0.217	0.0596
1977	35.38	25.73	14	0.2979	0.2263	0.0716
1978	22.62	26.16	15	0.3191	0.2556	0.0635
1979	34.33	26.53	16	0.3404	0.2818	0.0587
1980	24.61	26.64	17	0.3617	0.2897	0.072
1982	29.03	26.84	18	0.383	0.3042	0.0788
1983	21.68	27.11	19	0.4043	0.324	0.0802
1984	36.98	27.71	20	0.4255	0.3688	0.0567
1985	34.18	27.98	21	0.4468	0.3892	0.0577
1986	35.09	29.03	22	0.4681	0.468	0.0001
1987	25.73	29.08	23	0.4894	0.4717	0.0177

1988	26.84	30.39	24	0.5106	0.5658	0.0551
1989	34.65	30.63	25	0.5319	0.5822	0.0502
1990	24.85	30.86	26	0.5532	0.5976	0.0444
1991	24.2	31.28	27	0.5745	0.6249	0.0505
1992	22.29	31.78	28	0.5957	0.6561	0.0603
1993	24.06	32.07	29	0.617	0.6734	0.0564
1994	42.61	32.11	30	0.6383	0.6758	0.0375
1995	23.08	32.24	31	0.6596	0.6833	0.0237
1996	39.49	32.57	32	0.6809	0.7019	0.0211
1997	24.14	34.18	33	0.7021	0.7819	0.0798
1998	32.07	34.33	34	0.7234	0.7885	0.0651
1999	41.05	34.65	35	0.7447	0.8019	0.0572
2000	26.64	34.88	36	0.766	0.8111	0.0452
2001	34.88	35.09	37	0.7872	0.8193	0.032
2002	35.32	35.32	38	0.8085	0.8278	0.0193
2003	24.61	35.38	39	0.8298	0.83	0.0002
2004	26.16	36.86	40	0.8511	0.8771	0.026
2005	27.11	36.98	41	0.8723	0.8803	0.008
2006	25.59	38.77	42	0.8936	0.9209	0.0273
2007	27.98	39.49	43	0.9149	0.9334	0.0185
2008	27.71	41.05	44	0.9362	0.9546	0.0184
2009	30.86	42.32	45	0.9574	0.967	0.0095
2010	32.11	42.61	46	0.9787	0.9693	0.0094
					Dn max	0.0802

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Para obtener el valor critico se utiliza la Tabla de Valores Críticos D_{α} de la Prueba de Smirnov – Kolmogorov.

Tabla 52
Tabla de valores críticos

Prueba de Smirnov-Kolmogorov. Valores críticos $D_{\max}(\alpha, n)$					
Tamaño de la muestra	Nivel de significancia α				
	.20	.15	0.10	0.05	0.01
1	.900	.925	.950	.875	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.210	.220	.240	.270	.320
30	.190	.200	.220	.240	.290
35	.18	.190	.201	.230	.270
≥ 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

Fuente Tablas Estadísticas, Curso: Estadísticas 2, Departamento de Matemáticas, Universidad de la

Coruña - España

Donde:

$N=46$

Niveles de Significación $\alpha=0.05$

Se obtiene:

$D\alpha= 1.36/N$

$D\alpha= 0.2005$

Tabla 53
Resumen de valores de D_n max

Distribución	Qmax (m ³ /s)	D _n	D _α
Gumbel	45.086	0.0940	0.2005
Normal	41.962	0.1077	0.2005
Log Pearson Tipo III	44.261	0.0810	0.2005
Log Normal	44.273	0.0852	0.2005

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Se puede observar que el ajuste es bueno para todas las distribuciones debido a que el $D_n > D_\alpha$ con un 95% de seguridad y que la distribución Log – Pearson III presenta el D_n menor. Por lo que se concluye que es la que mejor se ajusta de las cuatro y el caudal máximo de diseño será:

$$Q_{max} = 44.261 \text{ m}^3/\text{s}$$

5 DISEÑO DE OBRAS HIDRAULICAS

5.1 Evaluación de la Elección del tipo de Obra de Toma

Para derivar el agua de un río en forma segura, es necesario construir una obra de toma que permita captar el caudal de diseño, tanto en época de estiaje o época seca, como en época de crecidas.

Existen diferentes tipos de obras de toma: las tomas tipo presa derivadora o convencionales, las tomas tipo tirolesa o de fondo, las tomas tipo galería filtrante y las tomas directas. Cada una presenta características diferentes y se acomodan a diferentes condiciones de forma, pendiente y transporte de sedimentos del río.

Debido a las características topográficas y geomorfológicas del río San Pedro, en el área elegida para la ubicación de la toma la elección del tipo de toma fue de la toma tipo convencional, esta es una estructura cuya función es levantar el nivel de agua del río y facilitar el ingreso a través de la ventana de captación de nuestro proyecto. La utilidad del barraje de derivación o azud se acentúa en épocas de estiaje. Con la finalidad de mejorar su estabilidad tiene una sección trapezoidal y para reducir a una presión casi nula en todos los puntos del azud se adopta el perfil tipo Greager.

Para la construcción de toma tipo presa derivadora no se requiere gran área, por lo tanto, no se tiene un impacto ambiental tan negativo, asimismo, permite aprovechar el agua de un cauce natural sin modificar la fuente de alimentación, y adicionalmente permite aprovechar el flujo de agua por gravedad si se construye aguas arriba de la zona de demanda. (SAGARPA, 2017)

5.2 Parámetros preliminares de diseño

5.2.1 Estimación del ancho de encauzamiento (B)

El río San Pedro cuenta con un caudal promedio de 6.92 m³/s, una pendiente promedio de 6.08 % y un ancho de cauce natural promedio de 15.40 m., además con los cálculos mostrados en el capítulo del estudio hidrológico (Capítulo IV) se obtuvo que un caudal para una máxima avenida con tiempo de retorno de 50 años es 44.26 m³/s, para la estimación del ancho de encauzamiento se usarán las siguientes formulas:

Tabla 54

Formulas de la estimación del ancho de encauzamiento

AUTOR	FORMULA
Altunin	$B = \frac{a * Q^{1/2}}{S^{1/5}}$ (5.1)
Petit	$B = 2.45 * Q^{1/2}$ (5.2)

Fuente: Arturo Rocha (2007) Hidráulica de tuberías y Canales.

Donde:

Q = Caudal Máximo (m³/s)

a = Parámetro que caracteriza al cauce

S = Pendiente del río

Según estudios realizados previamente para la Ecuación de Altunin, se requiere la selección de un parámetro ha caracterizado por la zona del río y la condición del cauce, este se obtiene de la Tabla 55; por el material rocoso o con cantos rodados se utiliza un valor de a igual a 0.5.

Tabla 55

Zona y condición para parámetro que caracteriza el cauce

Zona de río en condición de cauce	Número de Froude	Parámetro a	
		Orillas de difícil erosión (material muy cohesivo, rocas canto rodado)	Orillas erosionables (material sin cohesión, aluvial)
Zona alta de montaña Cauce rocoso cubierto de piedras	1	0.5	0.75
Zona de montaña, Cauce formado con cantos rodados, boleos y guajarros.	1.0 – 0.5	0.75	0.9
Zona en las faldas de montaña. Llegada de río al valle. Cauce formado por arena gruesa, media y fina. Corriente tranquila.	0.5 – 0.2	0.9	1.0
Zona intermedia. Cauce formado por arena gruesa, media y fina. Corriente tranquila.	0.2 – 0.04	1.0	1.10
Río caudaloso	0.2 – 0.04	1.10	1.30
Río poco caudaloso	0.3 – 0.2	1.30	1.70

Fuente: Ordoñez (2010) “Automatización de las Herramientas de Cálculo para el Análisis y Diseño de Encauzamiento de Ríos – Implementación en el Laboratorio Virtual de Hidrología (HIDROVLAB)”.

En la Tabla 56 se muestra el resultado del cálculo de las fórmulas para determinar el ancho de encauzamiento. El valor que se utilizará será el que más se ajuste al ancho natural promedio del río.

Tabla 56
Estimación del ancho de encauzamiento del río San Pedro

AUTOR	FORMULA (m.)
Altunin	5.82
Petit	16.30
PROMEDIO	11.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Con los cálculos realizados previamente, y considerando la variación entre ambos métodos se utilizará como ancho de encausamiento el ancho natural promedio del río San Pedro cuyo valor es de:

$$B = 15.00 \text{ m.}$$

5.2.2 Cálculo de Coeficiente de rugosidad (n)

Utilizaremos el procedimiento de Cowan para estimar el valor de n, calculado en función a las características físicas del río, y las condiciones que presenta su cauce, dicho cálculo se realizará usando la siguiente expresión:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * n_5 \quad (5.3)$$

En donde n0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso, n1 es un valor agregado a n0 para corregir el efecto de irregularidades de superficie, n2 es un valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n3 es un valor de corrección debido al grado de obstrucciones, n4 es un valor de corrección por presencia de vegetación y condiciones de flujo y n5 es un factor de corrección para los meandros. Los valores están detallados en la Tabla 57.

Tabla 57

Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad

CONDICION DE CANAL		Valores	
Material considerado	Tierra	n0	0.02
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Liso	n1	0.00
	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
Variaciones de la seccion transversal del canal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente		0.005
	Frecuentemente		0.0010 - 0.0015
Efectivo relativo de obstrucciones	Despreciable	n3	0.00
	Menor		0.0010 - 0.0015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetacion	Baja	n4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.020
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy Alta		0.050 - 0.100
Cantidad de meandros	Menor	n5	1.00
	Apreciable		1.15
	Severo		1.30

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017) Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje.

Reemplazando los valores en la ecuación 5.3 tenemos:

$$n = (0.028 + 0.010 + 0.005 + 0.0015 + 0.015) * 1.00$$

Realizados los cálculos se determinó que “n” de Manning es igual a 0.0595.

$$n = 0.0595$$

5.2.3 Cálculo del tirante extraordinario del río en la zona de encauzamiento (y_n)

Se procedió a calcular el tirante, tomando en cuenta un coeficiente de Manning calculado previamente. Se procederá a realizar el cálculo del tirante para un caudal de máxima avenida con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{n} * (B * y_n) * \left(\frac{B * y_n}{B + 2y_n} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2} \quad (5.4)$$

Donde:

Q = Caudal del río (m³/s)

n = Coeficiente de Maning

B = Ancho de encausamiento (m)

S = Pendiente del río

y_n = Tirante normal (m)

Mediante un proceso iterativo se calculó que el tirante del río al momento de la máxima avenida en la zona de encausamiento es de 0.976 m.

$$y_{max} = 1.00 \text{ m.}$$

5.3 Diseño de Bocatoma San Pedro

El diseño de la bocatoma San Pedro se realizará considerando los materiales presentes en la zona para poder abaratar los costos del proyecto. Las recomendaciones generales del empleo de materiales de los diferentes componentes de la obra se detallan en la Tabla 58. (PROAGRO 2011).

Tabla 58

Tipos de materiales usados para el diseño de bocatomas

Componente	Material	Observaciones
Azud	Hormigón Ciclópeo	Ríos sin arrastres de piedras
Azud	Hormigón Armado	Ríos con arrastre de piedras y bolones
Bocatoma	Hormigón armado, rejilla con barros de hierro	Ríos con arrastre de material grueso
Bocatoma	Hormigón Armado sin rejilla	Ríos sin arrastre de material grueso
Desgravador o desarenador	Hormigón Armado o ciclópeo	
Muros	Hormigón Armado o ciclópeo, gaviones	
Vertedero lateral	Hormigón Armado o ciclópeo	
Colchón disipador	Hormigón Ciclópeo	Ríos sin arrastres de piedras
Colchón disipador	Hormigón Armado	Ríos con arrastre de piedras y bolones
Compuertas	Metálicas o Metálicas/madera	
Canales de Limpieza	Hormigón ciclópeo	

Fuente: PROAGRO (2011) Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable.

5.3.1 Diseño de Toma o Captación

La ventana en una estructura de captación tiene la función de captar el caudal a utilizar, también se debe tener en cuenta que las rejillas de entrada ocasionan pérdidas en el gasto que se deben tener en consideración (Rojas, 2011). Las dimensiones de la ventana de

captación son calculadas en función al caudal de captación que en el proyecto acuerdo a la demanda hídrica será de 0.85 m³/s.

a) Cálculo de la Altura del Umbral del Orificio

Mansen (2007) recomienda usar valores entre 0.60 m. y 1.50 m. Se calcula en base a la siguiente expresión:

$$h_o = 3 * \phi + b.l. \quad (5.5)$$

Donde:

h_o = Altura del Umbral del Orificio

ϕ = Diámetro medio de sedimentos más gruesos (asumimos 0.15 m verificado en campo)

b.l = Borde libre $\approx$ 0.10 m

Figura 16 Altura del Umbral del Orificio

Fuente: ROCHA (1987) Hidráulica de tuberías y Canales.

Reemplazando los datos en la formula tenemos que la altura del umbral del orificio es de 0.55 m. Para la presente investigación, se va a considerar que se quiere que la ventana de captación este lo más bajo posible, por ello se está tomando el valor mínimo del rango dado.

$$h_o = 0.60 \text{ m}$$

b) Diseño de Ventana de Captación

Constituyen la entrada o abertura para el caudal de derivación, trabaja en épocas de estiaje como vertedero y la carga necesaria la produce el remanso generado por el azud o barraje, y en época de crecidas como orificio. La ventana de captación se diseña como un vertedero de pared delgada; por lo que, el caudal de diseño se ajusta a la siguiente expresión:

$$Q = M_o \times L \times H^{\frac{3}{2}} \quad (5.6)$$

Figura 17 Ventana de Captación

Fuente: ROCHA (1987) Hidráulica de tuberías y Canales.

Donde

Q = caudal del diseño (m³/s)

Mo = Coeficiente de vertedero libre de pared delgada

L = ancho de la ventana (se asumirá un ancho inicial de 3.00 m. de acuerdo a la recomendación de Mansen en su libro “Diseño de bocatomas”.)

H = alto de la ventana

El coeficiente de vertedero (Mo) puede ser calculado con la fórmula de Konovalov:

$$M_o = (0.407 + \frac{0.045H}{H + y_1})(1 + 0.285 \left(\frac{H}{H + y_1} \right)^2) \sqrt{2g} \quad (5.7)$$

O a través de la ecuación de Bazin:

$$M_o = (1.794 + \frac{0.0133}{H})(1 + 0.55 \left(\frac{H}{H + y_1} \right)^2) \quad (5.8)$$

Donde:

H = Alto de la ventana de captación: (0.60 m.)

y1 = Altura de vertedero respecto al fondo del río: (0.60 m.)

g = Aceleración de la gravedad: (9.81 m/s²)

El subíndice “o” se coloca debido a que la fórmula incluye la velocidad de aproximación (Krochin, 1978)

Figura 18 Dimensiones en la entrada de agua por la ventana de captación

Fuente: KROCHIN (1978). Diseño Hidráulico.

Reemplazando los datos se tiene:

Konovalov	$M_o = 2.03799$
Bazin	$M_o = 2.06588$
Promedio	$M_o = 2.05194$

Se utilizará el valor promedio de ambos métodos de cálculo.

Vertedero sumergido

Para que un vertedero se considere sumergido, se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$y_1 + h > y_2$$

$$h_z/y_2 < 0.7$$

Se comprueban las condiciones para flujo sumergido:

$$\begin{aligned} 0.60 + 0.60 &> 0.80 \\ 1.20 &> 0.80 \text{ m. (Si cumple)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.07/0.8 &< 0.70 \\ 0.0875 &< 0.70 \text{ m. (Si cumple)} \end{aligned}$$

Dado que el vertedero se encuentre en esta situación, como se aprecia en la *Figura 18 Dimensiones en la entrada de agua por la ventana de captación*, la Ecuación 5.6 se transforma en:

$$Q = s * M_o * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (5.9)$$

Donde “s” es un coeficiente de corrección por sumersión y se puede estimar mediante la fórmula de Bazin:

$$s = 1.05 \left(1 - 0.2 \frac{h}{y^2} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{\frac{h_z}{H}} \quad (5.10)$$

O a través de la fórmula de Villemonte:

$$s = \left(1 - \left(\frac{h^{\frac{3}{2}}}{H} \right) \right)^{0.385} \quad (5.11)$$

Donde:

hz = Pérdida de carga por efecto de la rejilla: (0.07 m.)

y2= Altura de vertedero respecto al fondo del desripiador (0.80 m.)

Reemplazando los valores se tiene:

Bazin	$s = 0.4425$
Villemonte	$s = 0.4453$
Promedio	$s = 0.4439$

Se utilizará el valor promedio de ambos métodos de cálculo.

Por lo tanto, reemplazando los Datos en la ecuación 5.9 tenemos:

$Q = 0.85 \text{ m}^3/\text{seg}$

$Mo = 2.05194$ (promedio)

$S = 0.4439$ (promedio)

Hallando el largo de la ventana de capación:

$$L = 2.69 \text{ m.}$$

$$\mathbf{L = 3.00 \text{ m.}}$$

Este resultado se utiliza como base para calcular las dimensiones finales de la reja, la cual incluye las varillas, con una altura de ventana de 0.60 m.

c) Diseño de rejilla (Trash Racks)

El objetivo de las rejillas es impedir que las partículas sólidas o cualquier tipo de obstáculo ingresen al canal de derivación. (Rojas 2011). La separación entre rejillas se recomienda tomarla de eje a eje; y dependiendo del tipo de material que se quiere impedir su ingreso la separación variará entre 0.025m y 0.10m (material fino) y de 0.10m a 0.20m (material grueso), recomendándose que las rejillas de menor separación en la parte superior. La ANA (2010) recomienda que la separación de las varillas sea de 0.025 a 0.10 m. cuando el material

sea fino y a 0.10 a 0.20 m. cuando el material sea grueso. Originalmente la longitud de la ventana de capitación no contempla la colocación de rejillas en la entrada, por lo que se requiere calcular una longitud totalizada, de mayor dimensión para obtener un ancho necesario para captar el caudal necesario. A continuación, calculamos el número de espacios necesarios y el ancho total de la ventana de capitación considerando la rejilla de ingreso.

$$N: de espacios = \frac{L}{b}$$

Donde:

L= Longitud de ventana de captación

b = Distancia entre las caras de las varillas de las rejas (m) (consideramos 0.10 m.)

$$N: de espacios = 30 espacios.$$

A continuación, calculamos el número de rejillas. Se toma un espacio entre barrotes de 0.1 m y un ancho de barrotes de 0.015 m

$$\text{Numero de espacios entre barrotes } n = \frac{3.00}{0.1} = 30$$

El número de barras es igual $n-1 = 29$ barrotes

$$b = 29 * 0.1 + 29 * 0.015 = 3.335 \approx 3.50 m$$

$$\mathbf{b = 3.50 m}$$

Las pérdidas de carga en las rejillas (hr) se deben a que estas producen perdidas por: obstrucción, contracción de la entrada y resistencias producidas por el rozamiento de agua.

La fórmula de CREAGER nos da un buen criterio para poder evaluarla.

$$hr = K_t \left(\frac{V_n^2}{2g} \right) \quad (5.12)$$

$$K_t = 1.45 - 0.45 * \frac{a_n}{a_g} - \left(\frac{a_n}{a_g} \right)^2 \quad (5.13)$$

$$V_n = V_{ing} * \left(\frac{e_n}{e_g} \right) \quad (5.14)$$

Donde

Kt = Coeficiente de perdida en la rejilla (0.399)

aRnR = Área neta ara vez de la rejilla

aRgR = Área bruta de las rejillas y sus soportes

VRnR = Velocidad a través del área de la rejilla

VRingR = Velocidad de ingreso

ERnR= Espacio neto a través de la rejilla

ERgR=Espacio bruto de las rejillas y sus soportes.

$$\begin{array}{lll} e_n = 0.10 \text{ m} & a_n = 3.0 \text{ m}^2 & \\ e_g = 0.115 \text{ m} & a_g = 3.45 \text{ m}^2 & \\ \frac{e_n}{e_g} = 0.86956 & \frac{a_n}{a_g} = 0.86956 & \\ k_t = 0.399 & V_{ing} = 1.7391 & V_n = 1.51228 \end{array}$$

La pérdida de carga en el enrejado es:

$$h_r = 0.047 \text{ m}$$

5.3.2 Diseño de Barraje Fijo o Azud

a) Altura del barraje vertedero

La altura del barraje está orientada a mantener un nivel de agua en el río, de modo que se puede derivar un caudal de derivación, también debe permitir el paso de agua excedente por encima de su cresta. La fórmula para su cálculo fue tomada del libro del Ingeniero Mansen y esta detallada a continuación:

$$Hb = h_o + h + 0.20 \quad (5.15)$$

Donde:

h_o = altura de umbral del vertedero de captación (0.60 m.)

h = altura de la ventana de captación (0.60 m.)

Reemplazando los datos en la formula con una altura del umbral igual 0.6m, tenemos una altura de barraje igual a:

$$Hb = 1.40 \text{ m}$$

b) Cálculo de altura de carga sobre el barraje (H_d)

Esta carga viene a constituir la altura del nivel de agua y es calculado mediante la ecuación general desarrollada por el Ing. SVIATOSLAV KROCHIN, la formula general del vertedero se expresa como:

(5.16)

Q = Caudal máximo (m³/s)

C = Coeficiente de descarga de vertedero

L = Longitud de barraje (m)

El coeficiente de descarga barraje para barrajes tipo creager, se realiza mediante iteración utilizando la Figura 19, desarrollada de manera experimental por el U.S Bureau of Reclamation (Sotelo, 1994). La primera carga de diseño para realizar la iteración se puede estimar con un coeficiente de descarga del azud igual a 2.

Figura 19 Coeficiente de descarga en cimacios

Fuente: Sotelo, (1994) Diseño Hidráulico de Estructuras

El cálculo se realiza mediante un proceso iterativo con un caudal máximo de avenida para un periodo de retorno de 50 años de 44.26 m³/s. Se determinó un coeficiente de descarga igual a 2.15. Teniendo una longitud de barraje igual a 10.00 m y reemplazando los demás datos se tiene que $H_d = 1.64$ m. para un caudal de máxima avenida.

$$H_d = 1.64 \text{ m.}$$

c) Longitud horizontal del perfil del barraje

Procederemos a calcular la longitud horizontal del perfil de barraje acuerdo a lo establecido por la USCE (United States Corps of Engineers) mediante la siguiente formula:

$$L_{tot} = L_0 + L_1 \quad (5.17)$$

$$L_0 = 0.27 * H_d \quad (5.18)$$

$$L_1 = (2 * H_b * H_d^{0.85})^{1/1.85} \quad (5.19)$$

Donde:

H_d = Carga sobre el barraje (m)

H_b = Altura del barraje (m)

Reemplazando los valores obtenemos una distancia de:

$$L_0 = 0.4104 \text{ m}$$

$$L_1 = 2.11 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 2.55 \text{ m}$$

d) Forma del Perfil de la cresta del barraje

Se recomienda dar formas a la cresta de modo tal que eviten la presencia de presiones negativas que podrían generar cavitación que causan daños al concreto. Asimismo, deben ofrecer máxima eficiencia hidráulica, practicabilidad, estabilidad y economía.

Se utilizará el perfil de Creager para reducir la erosión por el paso del río. Los valores de las abscisas y ordenadas se obtienen del producto de la carga sobre el barraje H_d . ecuación de la parte inferior de la lámina libre de agua está determinada por:

$$y(x) = 0.5 \frac{x^{1.85}}{H_d^{0.85}} \quad (5.20)$$

Por lo tanto, el perfil se obtiene de la ecuación general:

$$y(x) = 0.3502x^{1.85} \quad (5.21)$$

Se obtuvieron los siguientes valores detallados en el cuadro a continuación:

Tabla 59
Coordenadas para perfil Creager

x	y	x	y	x	Y
0.1	0.00484701	1.1	0.40930802	2.1	1.35387784
0.2	0.01747347	1.2	0.48079406	2.2	1.47555616
0.3	0.03699543	1.3	0.55753096	2.3	1.60202866
0.4	0.06299191	1.4	0.63945598	2.4	1.73326346
0.5	0.09518495	1.5	0.7265117	2.5	1.86923025
0.6	0.1333686	1.6	0.81864526		
0.7	0.17738021	1.7	0.9158077		
0.8	0.22708595	1.8	1.01795345		
0.9	0.28237252	1.9	1.12503995		
1	0.34314193	2	1.23702728		

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

El perfil desarrollado por el barraje se presenta en la Figura 20, con las coordenadas calculadas en la Tabla 59.

Figura 20 Perfil del Azud de la bocatoma San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

5.3.3 Diseño de colchón Disipador

La colocación del barraje en el cauce del río genera un incremento de energía potencial debido a la elevación del nivel de las aguas que, al momento de verter el agua por encima de

ella se transforma en energía cinética que causa erosión al pie del vertedero originando por las velocidades altas en dicho punto. Para controlar este efecto erosivo se construyen estructuras de disipación, como: solados, colchón disipador, estanques amortiguadores, etc. que tienen por objeto formar un salto hidráulico que logra disipar la energía cinética.

Es frecuente que los proyectistas eviten el empleo del salto hidráulico en soleras con pendiente por temor al corrimiento del salto hacia aguas abajo quedando fuera del estanque, pero esos temores son infundados pues como el salto en soleras con pendiente puede ser tan eficiente como en soleras horizontales. (Pardo R. 2019)

a) Determinación del Tirante conjugado.

A continuación, se describe el cálculo de la disipación de energía basada en la longitud del colchón disipador y de los tirantes conjugados (y_1 y y_2) necesarios para la formación apropiada del salto hidráulico.

- Cálculo del tirante conjugado menor (y_1):

Se determina el tirante y_1 de acuerdo a la siguiente expresión:

$$y_1 = \left(\frac{E_0}{3}\right) * (1 - 2 \cos(\theta) + \frac{\theta}{3}) \quad (5.22)$$

Donde:

y_1 : Profundidad de circulación en la sección inicial del salto

E_0 : Energía específica

θ : Angulo de inclinación

La energía específica se calcula con la siguiente expresión:

$$E_0 = P + H_0 \quad (5.23)$$

Donde:

P : Altura de salida del vertedero

H_0 :Carga del flujo (m)

Reemplazando en la ecuación 5.23:

$$E_0 = 1.4 + 1.64$$

$$E_0 = 3.08 \text{ m.}$$

El Angulo de inclinación se determina mediante la siguiente expresión (Pardo 2019):

$$\theta^{\circ} = \arccos(1 - 0.73q^2 * E_0^{-3}) \quad (5.24)$$

Donde:

q : Relación entre caudal total y la longitud total

Relación entre caudal total y la longitud total se calcula con la siguiente expresión:

$$q = \frac{Q}{L} \quad (5.25)$$

Donde:

Q : Caudal Total

$L = b$: Ancho del vertedero

Reemplazando en la ecuación 5.25:

$$q = \frac{44.26}{10} = 4.43 \frac{m^3}{s} / m$$

Reemplazando en la ecuación 5.24 se tiene:

$$\theta^{\circ} = \arccos(1 - 0.73 * 4.43^2 * 2.92^{-3})$$

$$\theta^{\circ} = 64.87^{\circ}$$

Reemplanzando en la ecuación 5.22 se tiene que el tirante menor es:

$$y_1 = \left(\frac{3.08}{3}\right) * \left(1 - 2\cos 60 + \frac{64.87}{3}\right)$$

$$y_1 = 0.69 \text{ m.}$$

- Calculo de velocidad a la entrada del estanque (V_1)

$$V_1 = \frac{q}{y_1} \quad (5.26)$$

$$V_1 = \frac{4.43}{0.69}$$

$$V_1 = 6.42 \frac{m}{s}.$$

- Calculo del número de Froude en la entrada del estanque:

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * y_1}} \quad (5.27)$$

Reemplazando en la ecuación 5.27:

$$F_{r1} = \frac{6.42}{\sqrt{9.81 * 0.69}}$$

$$F_{r1} = 2.47$$

- Determinación del tirante conjugado mayor:

Existen varias formulaciones matemáticas para definir la ocurrencia del salto hidráulico en soleras con pendiente, siendo la desarrollada por Kindsvater la de mayor uso en la práctica, la cual está definida con la siguiente expresión:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2 \cos(\theta)} \left(\sqrt{\frac{8F_{r1}^2 \cos^3(\theta)}{1 - 2K \tan(\theta)}} + 1 - 1 \right) \quad (5.28)$$

Donde:

y_1 : profundidad de circulación antes del salto, m.

y_2 : profundidad conjugada (después del salto), m.

F_{r1} : número de Froude antes del salto.

θ : ángulo de inclinación del fondo con la horizontal, en grados.

K: coeficiente de forma.

Según Pardo, Wong y Cabrera el coeficiente de forma se determina por la siguiente expresión:

$$K = 4.075 - 27.56249S_0 + 113.0682S_0^2 - 182.9947S_0^3 \quad (5.29)$$

Reemplazando en la ecuación 5.29 se tiene:

$$K = 4.075 - 27.56249 * 0.0608 + 113.0682 * 0.0608^2 - 182.9947 * 0.0608^3$$

$$K = 2.78$$

Reemplazando en la ecuación 5.28 se tiene:

$$\frac{y_2}{0.69} = \frac{1}{2 \cos(3.48^\circ)} \left(\sqrt{\frac{8 * 2.47^2 \cos^3(3.48^\circ)}{1 - 2 * 2.78 \tan(3.48^\circ)}} + 1 - 1 \right)$$

$$y_2 = 2.63 \text{ m.}$$

b) Longitud del colchón disipador

Los resultados experimentales relativos a la longitud del salto en soleras con pendiente han sido presentados para un rango de pendientes de la solera entre 0% y 25%, en la figura 21. De acuerdo a la investigación de A. J. Pekerta (1984).

Figura 21 Longitud del salto en relación con D_2 (estanque tipo V)

Fuente: Peterka, (1984) *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. Engineering monograph No. 25*

En la figura 21. se puede apreciar que la longitud del salto en canales con pendiente presenta mayor longitud que igual salto cuando se produce en canales horizontales.

Se puede utilizar la ecuación 5.30 y los parámetros de la Tabla 61-a como una alternativa a la figura 21.

$$\frac{L}{D_2} = a + \frac{b}{F_r} + \frac{c}{F_r^2} + \frac{d}{F_r^3} + \frac{e}{F_r^4} + \frac{f}{F_r^5} + \frac{g}{F_r^6} + \frac{h}{F_r^7} + \frac{i}{F_r^8} \quad (5.30)$$

Tabla 60 – a

Parámetros de la ecuación

Parámetros	Curva 0	Curva 0.05	Curva 0.10	Curva 0.15	Curva 0.20	Curva 0.25
a	1.883225097	0.941498899	2.325997053	-4.193463285	128.7922956	18.99657119
b	142.7346275	193.4517271	118.2463625	415.5804116	-4333.509497	-543.6302619
c	-2042.989072	-3017.830687	-1247.952897	-6850.142115	65569.53361	9704.220479
d	16252.73894	26229.0453	4626.266509	62769.50185	-550852.5164	-92048.99326
e	-78066.88739	-137470.3894	13985.87344	-347070.0306	2811938.412	514536.0355
f	228230.4635	439079.3268	-189566.6985	1177150.272	-8939350.212	-1756723.798
g	-395340.0292	-832608.9951	683481.7493	-2390217.694	17287669.73	3600079.065
h	371433.4668	858648.7911	-1094312.614	2662005.134	-18591858.28	-4062268.531
i	-145242.4011	-369983.5145	664784.104	-1248302.513	8510704.715	1935946.647

Fuente: Pardo (2019) Disipadores de energía. Parte III: Estanque amortiguador en soleras con pendiente disipador tipo bloque de impacto.

Reemplazando en la ecuación 5.30 se tiene:

$$\frac{L}{y_2} = 0.941498899 + \frac{193.4517271}{2.47} + \frac{-3017.830687}{2.47^2} + \frac{26229.0453}{2.47^3} + \frac{-137470.3894}{2.47^4} + \frac{439079.3268}{2.47^5} + \frac{-832608.9951}{2.47^6} + \frac{858648.7911}{2.47^7} + \frac{-369983.5145}{2.47^8}$$

Por lo que, resolviendo la ecuación la longitud del colchón disipador es:

$$L = 4.996 * 2.63$$

$$L = 13.14 \text{ m.}$$

$$L = 13.15 \text{ m}$$

c) Espesor del colchón disipador

Para resistir el efecto de la subpresión es recomendable que el colchón disipador tenga un espesor que soporte el empuje que ocasiona la subpresion.

Figura 22 Efecto de subpresión en el colchón disipador

Fuente: Bureau of Reclamation (1985)

Para calcular el espesor se parte de que el peso del solado debe ser mayor a la supresión ejercida por el agua, para esto se aplica la siguiente formula (Mansen ,2007):

$$e = \left(\frac{4}{3}\right) * \frac{h}{(SGs - 1)} \quad ; \quad e \geq 0.90m \quad (5.31)$$

Donde

SGs = Gravedad específica del suelo

$h = \Delta h - h_f$

$h_f = \Delta h * (S_p / S_r)$

S_p = camino de percolación parcial

S_r = camino de percolación total

El resultado obtenido de reemplazar los datos en la fórmula es que se obtiene un espesor de 1.24 m.

$$e = 1.25 m \quad ; \quad e \geq 0.9m$$

5.3.4 Diseño del Canal de Limpia

Es una estructura que permite reducir la cantidad de sedimentos que trata de ingresar al canal de derivación, arrastrando el material que se acumula delante de la ventana de captación. Su ubicación recomendada es perpendicular al eje del barraje vertedero y su flujo paralelo al del río a menos que se realice un modelo hidráulico que determine otras condiciones.

a) Cálculo de la Velocidad de arrastre en el Canal de Limpia (V_c)

Para su dimensionamiento se procede a calcular la velocidad de arrastre mediante la siguiente formula (Mansen 2007):

$$V_c = 1.5 * c * \sqrt{d} \quad (5.32)$$

Donde

V_c = es la velocidad requerida para iniciar el arrastre (m/s)

C = coeficiente en función del tipo de material

d = diámetro del grano mayor (m)

Tabla 60

Coeficientes de Velocidad de Arrastre

Material	c	
Arena y grava redondeada	3.2	
Sección cuadrada	3.9	
Mezcla de grava y arena	4.5	3.5

Fuente: Bureau of Reclamation. (1985)

Resolviendo:

$$V_c = 1.5 * 4.5 * \sqrt{0.085}$$

Se obtiene una velocidad de 1.967m/s y redondeando 2.00 m/s, tomando en cuenta un coeficiente de 4.5 para mezcla de grava y arena, y un diámetro del grano mayor de 0.085m, el cual se obtuvo del estudio de PREFACTIBILIDAD DE LA PRESA YANAMAYO en las comunidades San Pedro y Santa Cruz en el año 2011.

$$V_c = 2.00 \text{ m/s}$$

b) Ancho de canal de limpia (B)

Es calculado mediante la siguiente formula:

$$B = \frac{Qc}{q} \quad (5.33)$$

Donde

B = ancho del canal de limpia, en metros

Qc = caudal a discurrir en el canal de limpia para eliminar el material de arrastre, en m³/s.

Se fija un ancho de 4.5 metros efectivos para el canal y con la velocidad para el arrastre calculada anteriormente de 2m/s con lo que se obtiene un caudal de 4.4 m³/s. Basado en las

experiencias obtenidas en ríos del Perú, se recomienda que el ancho mínimo sea de 5 metros o múltiplo de este valor si se trata de varios tramos; situación recomendable para normar el ancho del canal de limpia. (Mansen, 2007).

Por lo que se obtiene:

$$B = 5.00 \text{ m.}$$

c) Caudal del canal de limpia (q)

El canal de limpia debe evacuar por lo menos el doble de la capacidad de la toma o el caudal medio de río o 10% del caudal máximo que sería: 4.53 m³/s. (Trabajaremos con este último). donde caudal de limpia = 10% del caudal máximo. Por lo que el caudal por unidad de ancho en m³/s/m. será:

Es calculado mediante la siguiente formula:

$$q = \frac{Q_c}{b} \quad (5.34)$$

Donde

Q_c = Caudal de limpia (m³/s)

b = Ancho de compuerta

$$q = \frac{4.53}{5.00}$$

$$q = 0.906 \text{ m}^3/\text{s/m.}$$

El caudal del canal de limpia hallado es de 0.906 m³/s/m.

d) Pendiente del canal de limpia (I_c)

Es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$I_c = n^2 * \frac{g^{\frac{10}{9}}}{q^{\frac{2}{9}}} \quad (5.35)$$

Donde

I_c = pendiente critica.

g = aceleración de la gravedad, en m/s².

n = coeficiente de rugosidad de Manning. (0.059)

q = descarga por unidad de ancho (caudal unitario), en m²/s.

Teniendo en cuenta el caudal unitario de 0.906 m³/s/m. y el coeficiente Manning de 0.0595 se obtiene una pendiente de $I_c = 0.0449$.

$$I_c = 4.49\%$$

$Sc=0.0449$ es menor a la pendiente del río que es de 0.0608, entonces (OK).

5.3.5 Diseño del Enrocado de protección o escollera (Ls)

Al final del colchón disipador se deberá colocar una escollera o enrocado de manera que se pueda reducir el efecto erosivo. Para el cálculo de longitud de la escollera se utilizó la siguiente formula, recomendada por Bligh. (Mansen, 2007)

$$L_s = 0.6 * C * D_1^{\frac{1}{2}} * \left(1.12 * \left(q * \frac{D_b}{D_1}\right)^{\frac{1}{2}} - 1\right) \quad (5.36)$$

Donde:

D_b = altura comprendida entre la cota del extremo aguas abajo en el colchón disipador y la cota de la cresta del barraje vertedero (m)

D_1 = Altura comprendida entre el nivel de agua en el extremo aguas abajo del colchón disipador y la cota de la cresta del barraje vertedero (m).

Q = Avenida de diseño por unidad de longitud del vertedero.

C = Coeficiente de Bligh. (ver Tabla 61)

Figura 23 Escollera al Final del colchón disipador

Fuente: Mansen (2007) Diseño de Bocatomas.

Los valores del coeficiente de Bligh se presentan resumidos en la Tabla 61.

Tabla 61

Resumen de Tabla de Coeficientes de Bligh

Lecho de cauce	C
Arena fina	12
Arenas y Gravas	9
Bolones de arenas	4 - 6

Fuente: Rojas (2008) Lineamientos para el Diseño de Tomas de Captación del Manual de Estructuras Hidráulicas.

Se reemplaza los datos en la fórmula descrita previamente y se obtiene:

$$L_s = 2.84 \text{ m}$$

Sin embargo, muchos autores recomiendan que esta tenga una distancia mínima de 3m y que tenga un diámetro de enrocado mayor a 50cm por lo que:

$$L_s = 3.00 \text{ m}$$

Finalmente se muestra el esquema de la bocatoma en planta con las medidas calculadas previamente:

Figura 24 Vista Planta de la bocatoma San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (2019)

5.3.6 Diseño del Desripiador

Después que el agua rebosa el vertedero de la ventana de captación, es necesario atrapar o decantar el material que ha podido pasar a través de la rejilla; a esta estructura que realiza la decantación y aquietamiento del agua antes que éste ingrese a la zona de compuertas de regulación, se le conoce como cámara de carga, cámara de decantación a desripiador. Entre la reja de entrada y el vertedero de salida puede formarse un resalto sumergido y para que el vertedero funcione de forma normal es conveniente que el ancho del desripiador sea igual a la longitud del resalto.

Figura 25 Resalto en Desripiador

Fuente: Mansen (2007) Diseño de Bocatomas.

Longitud del desripiador (Ld)

El cálculo de la longitud del vertedero del desripiador hacia la transición es el mismo que el de la ventana de captación. Por lo tanto, se inicia el cálculo con las siguientes dimensiones calculadas anteriormente.

- Altura de la carga de agua sobre la cresta del vertedero $H=H_1$ de 0.60 m
- Altura del vertedero respecto al fondo del desripiador $Y_2= y_{1a}$ de 0.40 m

Para el cálculo de la longitud del desripiador se usará la ecuación 5.6 detallada anteriormente, sin embargo, previamente, se calcula el coeficiente de vertedero (M_o) usando las ecuaciones 5.7 y 5.8

Utilizamos la ecuación 5.7. El coeficiente M_o calculado con la fórmula de Konovalov:

$$M_o = \left(0.407 + \frac{0.045 * 0.6}{0.6 + 0.4}\right) \left(1 + 0.285 \left(\frac{0.6}{0.6 + 0.4}\right)^2\right) \sqrt{2 * 9.81}$$

$$M_o = 2.119616$$

Utilizando la ecuación 5.8 – Coeficiente de vertedero de acuerdo a Bazin:

$$M_o = \left(1.794 + \frac{0.0133}{0.6}\right) \left(1 + 0.55 \left(\frac{0.6}{0.6 + 0.4}\right)^2\right)$$

$$M_o = 2.175767$$

El coeficiente a utilizarse será el promedio de los valores calculados, el cual será:

$$M_o = 2.1476$$

Considerando un caudal de captación igual 0.85 m³/s, reemplazamos los datos en la ecuación 5.6 y obtenemos:

$$L = 2.45 \text{ m.}$$

Ancho del vertedero (Bv)

Calculamos los tirantes conjugados del pequeño resalto producido en el desripador.

Conjugado Menor

$$y1 = \frac{q}{k * \sqrt{2 * g * (to - y1)}} \quad (5.37)$$

$$To = 1.10000$$

$$q = 0.38641$$

$$k = 0.95000$$

$$y1 = 0.092 \text{ m}$$

Conjugado mayor

$$y2 = \frac{y1}{2} * \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{8 * q^2}{g * y1^2}}\right) \quad (5.38)$$

$$y2 = 0.533 \text{ m}$$

Calculamos el ancho del desripiador mediante las ecuaciones 5.31, 5.33 y 5.34 de las cuales elegimos la mayor para tener un valor más seguro.

Los resultados se presentan a continuación:

$$\text{Pavlovski} = 2.43$$

$$\text{Safranetz} = 2.13$$

$$\text{Bakhmetev} = 2.21$$

Por lo tanto, el valor seleccionado será:

$$Bv = 2.45 \text{ m}$$

La purga del desripiador posee un caudal de diseño distinto, el caudal de purga se determina como el ancho del canal de conducción (caudal de captación) para el canal de purga de desripiador o como el 10% de la longitud del azud, Gutiérrez (2014).

Resulta:

$$B_p = 0.1 * 10.0$$

$$B_p = 1.00 \text{ m.}$$

5.3.7 Diseño de canal de transición

Es la estructura que permite que el cambio de sección se realice en forma gradual, con el objetivo de minimizar la pérdida de carga (Krochin, 1978). Se diseña la transición para las condiciones del canal. La ANA (2010) plantea que es necesario calcular la longitud de la zona de transición mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 * \tan 12.5} \quad (5.39)$$

Donde:

L = Longitud mínima de transición (m)

T1 = Ancho en zona del vertedero (m)

T2 = Ancho en zona del canal de derivación (m)

Figura 26 Canal de Transición de la bocatoma

Fuente: Mansen (2007) Diseño de Bocatomas.

Se requiere calcular la transición entre la longitud del vertedero en el desripador igual a 3.10 m y el ancho del canal de conducción de 1.20 m: Por lo que:

$$L = \frac{2.45 - 1.00}{2 * \tan(12.5)} \quad (5.40)$$

$$L = 3.25 \text{ m.}$$

La transición se realizará con la forma de dos arcos de círculos tangentes a la entrada y a la salida, como muestra la Figura 25, para esta disposición, el radio de curvatura está determinado por:

$$R = \frac{L}{2 * \sin(2\alpha)} \quad (5.41)$$

Donde:

R = Radio de curvatura de la transición (m)

L = Longitud de transición, calculada en la Ecuación 2-34 (m)

α = Ángulo de ampliación de sección (°). (Se usará 12.50)

$$R = \frac{3.25}{2 * \sin(2 * 12.50^\circ)} \quad (4.42)$$

$$R = 5.00 \text{ m.}$$

El ancho variable b_x está dado por las siguientes expresiones:

Para la primera mitad de la transición:

$$0.5(b_x - b_2) = L \tan(\alpha) - (R - \sqrt{R^2 - x^2}) \quad (5.43)$$

Para la segunda mitad de transición:

$$0.5(b_x - b_2) = R - \sqrt{R^2 - (L - x)^2} \quad (5.44)$$

La longitud de transición se dividirá en 6 secciones, espaciadas cada cincuenta centímetros.

El ancho variable b_x se calcula con los datos obtenidos anteriormente y mediante las ecuaciones 5.48 y 5.49. El procedimiento realizado se muestra en la Tabla 62:

Tabla 62
Cálculo del ancho variable para la transición

x	x ²	(Lt-x) ²	(R ² -a)0.5	(R ² -b)0.5	L(tan(a)-(R-c)	r-d	0.5(bx-b ²)	bx
0.50	0.25		4.97		0.71			
1.00	1.00		4.90		0.63			
1.50	2.25		4.77		0.50			
2.00		1.00		4.90		0.10		
2.50		0.25		4.97		0.03		
3.00		0.00		5.00		0.00		

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

6 ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DEL PROYECTO

En este capítulo se presentan las consideraciones detalladas en el proceso de estimación de cantidades y costos referenciales para el diseño del proyecto. El presupuesto consiste en hallar el valor que representa en obra la ejecución de las diferentes actividades, para lo cual se ha tenido presente una metodología y los criterios básicos para el cálculo de costos. En el presupuesto presentado se considera los costos directos e indirectos del proyecto en la evaluación económica.

La estimación de los costos se basa en el análisis de precios unitarios de las actividades necesarias para la construcción de la bocatoma San Pedro. Las cantidades de obra son calculadas sobre la base de los diseños de los componentes de la obra. Para el desarrollo de los análisis de precios unitarios se ha tenido en cuenta, los procedimientos y rendimientos usuales de construcción de excavaciones, rellenos, obras de concreto y las exigencias especiales derivadas del clima propio de la altitud del sitio.

6.1 Costos Directos

Calculamos los costos directos del proyecto, considerando la ubicación y la facilidad de acceso que este sitio presenta. También se considera que la zona presenta gran cantidad de piedra y que esta puede ser usada para algunos componentes del proyecto.

En ningún caso para los precios de insumos (materiales y equipo temporal) se ha considerado la incidencia del Impuesto General a las Ventas (IGV).

El proyecto presenta en su presupuesto dos tipos de concreto, armado para elementos como el azud, la ventana de captación, canal de purga, desripador y canal de transición, mientras que se usara concreto ciclópeo para los muros de encauzamiento, colchón disipador y escollera, así como el control de infiltración del barraje fijo.

- Precios básicos

Los precios básicos provienen de las listas de precios disponibles para el mes de referencia.

- Mano de obra

Los costos de la mano de obra han sido calculados directamente a partir de los salarios básicos del sector para operarios y oficiales, integrados con la incidencia de las leyes sociales y otros beneficios aplicables a las distintas modalidades de trabajo.

- **Materiales**

Los costos de los materiales se han considerado a partir de los precios de lista en el lugar de producción o venta sin incluir el IGV.

- **Equipo temporal**

El equipo de construcción a utilizarse en la obra consiste mayormente en maquinaria para movimiento de tierras y concreto, cuyos costos horarios de uso se han tomado de las revistas especializadas en el ramo.

- **Flete**

El transporte de los materiales y demás insumos se efectuará por vía terrestre, considerando a las ciudades de Nazca y Puquio, como los principales centros de acopio. El costo de transporte se ha fijado a partir de las tarifas oficialmente establecidas según Resolución N° 027-91-TC/CRTT-T del 04.06.91 aplicados de acuerdo a las distancias virtuales de los centros de abastecimiento a la obra.

Los costos directos están detallados en la *Tabla 63 Costos directos del proyecto San Pedro*, este cuadro es un resumen de los cálculos realizados de metrado y Análisis de costos Unitarios (A.P.U.) de todas las partidas analizadas, estos cálculos están presentes en el *Anexo 4 Costos y Presupuestos del proyecto*.

Tabla 63
Resumen costos directos del proyecto San Pedro

Item	Nombre	Unidad	Cantidad	Valor Unitario TOTAL	Valor
	1. BOCATOMA SAN PEDRO				
1	OBRAS PROVISIONALES				42,143.38
1.01	Transporte de maquinaria y equipo	GLB	1	11,193.38	11,193.38
1.02	Campamento provisional	GLB	1	30,000.00	30,000.00
1.03	Cartel de obra	UND	1	950	950.00
2	TRABAJOS PRELIMINARES				35,260.00
2.01	Desvio Provisional	GLB	1	25,000.00	25,000.00
2.02	Limpieza y desbroce	M2	1,500.00	4.33	6,495.00
2.03	Trazo y replanteo	M2	1,500.00	2.51	3,765.00
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS - CORTE				42,524.01
3.01	Excavación en material Común h<=2m	M3	2,531.65	6.4	16,202.56
3.02	Excavación en Roca	M3	506.33	9.62	4,870.89
3.03	Excavación para estructuras	M3	25.32	7.69	194.71
3.04	Relleno Compactado con Material de Sitio	M3	1,957.26	10.13	19,827.04
3.05	Eliminación de material excedente	M3	717.99	1.99	1,428.80
4	CONCRETOS				137,057.31
4.01	Concreto ciclopeo f'c=175kg/cm2	M3	485.5	208.72	101,333.56

4.02	Concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$	M3	120.558	296.32	35,723.75
6	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO				21,923.45
6.01	Encofrado y desencofrado plano vertical	M3	348.91	42.39	14,790.29
6.02	Encofrado y desencofrado plano horizontal	M3	67.6	105.52	7,133.15
7	ACERO DE REFUERZO				21,801.91
7.01	Acero de refuerzo $f_y = 4200\text{ Kg/cm}^2$	KG	6,667.25	3.27	21,801.91
8	COMPUERTAS Y VALVULAS				128,000.00
8.01	Compuerta Metalica para canal desrripador 2.1*0.90 m	UND	1	35,000.00	35,000.00
8.02	Compuerta Metalica para canal de purga 2.3*0.90 m	UND	2	40,000.00	80,000.00
8.03	Válvula de compuerta lateral circular sello en bronce CRM diám.= 0.30 m.	UND	1	4,000.00	4,000.00
8.04	Válvula de compuerta lateral circular sello en bronce CRM diám.= 4"	UND	1	3,000.00	3,000.00
8.05	Válvula de compuerta sello elástico. VnA HD. Ext. Lisos diám.=4"	UND	1	2,500.00	2,500.00
8.06	Rejilla Metálica. 3.00 x 0.60 mt. Consta de 2 Angulos de 1.5" x 3/16" y varillas corrugadas de 1/2" @ 10 cm	UND	1	3,500.00	3,500.00
					428,710.05

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

De acuerdo al metrado realizado y al análisis de precios unitarios se tiene un total de costo directo igual a (S/. 428,710.05) Cuatrocientos veinte y ocho mil setecientos diez con 05/100.

6.2 Costos Indirectos

Para la evaluación de los costos indirectos se considera gastos generales variables como el sueldo al staff, los gastos administrativos por concepto de computadoras, mobiliario y consumo eléctrico, así como telefonía fija y móvil. En los gastos generales fijos están contemplados los seguros como la póliza car y cartas fianza, así como los gastos que incurre la oficina central de proyectos. Este gasto fue asumido en el proyecto como el 10% del total del costo directo.

6.3 Costo Total

El Costo Total del Proyecto resulta de considerar los costos directos e indirectos, de manera que el costo se resume en la Tabla 66 presentada a continuación:

Tabla 64
Resumen de costos del Proyecto

RESUMEN		
		COSTO (S/.)
OBRAS PROVISIONALES		42,143.38
TRABAJOS PRELIMINARES		35,260.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS		42,524.01
OBRAS CIVILES		180,782.66
VALVULAS Y COMPUERTAS		128,000.00
COSTO DIRECTO (CD)		428,710.05
COSTO INDIRECTO (CI)	-10%	42,871.01
SUB TOTAL		471,581.06
EXPEDIENTE TECNICO	-2.5%	10,717.75
SUPERVISIÓN	-4%	17,148.40
ADMINISTRACION	-1.50%	6430.65075
SUB TOTAL		505,877.86
IGV	-17%	85,999.24
TOTAL		591,877.10

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Se concluye que el costo total del proyecto es de **S/. 591,877.10** (soles), este costo considera las obras provisionales, trabajos preliminares, obras civiles, adquisición de válvulas y compuertas, los costos indirectos, supervisión, expediente técnico y de administración de la obra.

6.4 Costos de Operación y Mantenimiento Incrementales

Los costos de operación y mantenimiento alcanzan a un promedio anual de **S/.70,397.00** en el horizonte de operación del Proyecto, constituidos principalmente por los costos de operación, que incluyen el acompañamiento técnico y mitigación ambiental en todo el período operativo para mantener en óptimas condiciones de operatividad la infraestructura hidráulica mejorada y rehabilitada.

El desagregado por año se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 65

Costos de operación y mantenimiento con proyecto a precios de mercado

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Gastos de Personal y LS	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Otros servicios de terceros	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200	15,200
Mantenimiento y desarrollo infraestructura h.	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420	24,420
Prevención de riesgos y daños	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977
Capacitación y asistencia técnica (Acompañamiento)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Mitigación ambiental	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300
TOTAL, COSTOS (O&M)	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397	70,397

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

El presente capítulo tiene por objeto presentar los resultados de los estudios económicos del proyecto y determinar si la alternativa presentada logra ser rentable. La evaluación de proyectos consiste en comparar los costos con los beneficios que éstos generan, para así decidir sobre la conveniencia de llevarlos a cabo. La evaluación privada de proyectos supone que la riqueza (el dinero) constituye el único interés del inversionista privado; La evaluación social de proyectos consiste en comparar los beneficios con los costos que dichos proyectos implican para el país; es decir, consiste en determinar el efecto que la ejecución del proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad (bienestar social de la comunidad). El proyecto de la bocatoma San Pedro presentara enormes beneficios para las comunidades, algunos de ellos se mencionan a continuación:

- Reducir la vulnerabilidad de la actividad agrícola determinada por la estacionalidad e irregularidad del recurso hídrico.
- Lograr la más alta productividad y producción agrícola posible de acuerdo con la disponibilidad de recursos físicos, tecnológicos y financieros, como requisito para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.
- Aumentar el empleo de trabajadores y campesinos sin tierra y reducir la estacionalidad de la ocupación para aumentar sus ingresos y mejorar sus niveles y condiciones de vida.

7.1 Evaluación Privada del Proyecto

Existe una población propietaria de tierras con aptitud agrícola para desarrollo de los actuales productos agrícolas y otros productos con potencial de mercado, con grandes expectativas de contar con una mejora y rehabilitada infraestructura hidráulica de captación en la zona. Sin embargo, existe el beneficio de brindar los servicios de agua de riego en forma limitada, en términos de eficiencia la captación, con la actual infraestructura hidráulica, generando un bajo Valor Neto de Producción (VNP).

Los beneficios directos cuantificables en la situación “Sin Proyecto”, comprenden principalmente los siguientes beneficios para los usuarios:

- Ingresos por venta de agua de riego
- Valor Neto de Producción (VNP) agrícola

El cálculo de cada uno de estos beneficios económicos es detallado a continuación:

a) Ingresos por venta de agua de riego

A la vigencia de la Ley N:29338 “Ley de Recursos Hídricos” en el Título VI Régimen económico por el uso de agua, dispone que los titulares de los derechos de uso de agua están obligados a contribuir al uso sostenible y eficiente del recurso mediante el pago de retribución económica por el uso de agua. Se prevé que los usuarios tendrán una buena predisposición a pagar la tarifa de agua, para cubrir el 100% de los costos de operación y mantenimiento, adoptando la modalidad de pago anticipado de la tarifa de agua.

Para calcular el ingreso neto por venta de agua de regadío en las comunidades, se han considerado los siguientes supuestos y/o parámetros:

- Volumen de agua proyectadas sin proyecto de acuerdo al estudio de demanda es: **13,490'000 m3**, para atender las actuales hectáreas agrícolas para riego.

- Tarifa por m3 de agua de riego vendida: S/. 0,001525/m3; para cubrir el costo de operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica de riego actual (S/./20'575,00) sin proyecto. Se han elaborado tomando como referencia el presupuesto de los costos de operación y mantenimiento del año 2016 manifestado por la Junta de usuarios; estos últimos se asumen conservadoramente como un patrón de gastos representativos para el horizonte de evaluación del proyecto Este costo anual es financiado por los beneficiarios de la zona de intervención del proyecto, representado por la Junta de Usuarios de las comunidades San Pedro y Santa Cruz.

- El volumen de agua proyectado con proyecto de acuerdo al estudio de demanda es **15,450'000 m3**, para atender las actuales hectáreas agrícolas para riego.

- Tarifa por m3 de agua de riego vendida: S/. 0.004556/m3; tomando como referencia la tarifa de equilibrio que cubre los costos de operación y mantenimiento con proyecto (S/. 70,397.00) detallados en la *tabla 65 Costos de operación y mantenimiento con proyecto a precios de mercado*, que se iniciaría en 2019. Costo anual O&M financiado por los beneficiarios del proyecto.

Por consiguiente, en la situación hipotética con Proyecto, se generará un ingreso neto incremental total de S/. 49'822.00 anuales, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 66

Ingresos por venta de agua sin proyecto, con proyecto e incrementales

CONCEPTO	S/. (Monto)
Ingreso por venta de agua sin proyecto	20'575,00
Volumen Millones de Metros cúbicos (MMC)	13.49
Tarifa por m3	0,001525
Ingreso por venta de agua con proyecto	70'397.00
Volumen Millones de Metros cúbicos (MMC)	15.45
Tarifa por m3	0,004556
Ingresos incrementales	49'822.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

b) Valor neto de producción

En el proyecto Bocatoma San Pedro analizaremos el ingreso incremental comparando el VNP de la situación “con proyecto” menos la situación “sin proyecto”, el valor neto aumenta debido al incremento de área de cultivo y a la mejora del rendimiento de producción.

$$VBP = Rendimiento/cultivo * hectareas * Precio$$

Para calcular el Valor Neto de la Producción (VNP), se han asumido los siguientes supuestos y/o parámetros basados en información proporcionado el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), estos son:

- Rendimiento por Hectárea por tipo de cultivo
- Precio de Venta por Kilogramo por tipo de cultivo
- Costo de producción por tipo d cultivo (S/.ha.)

El VNP se calcula utilizando la siguiente formula

$$VNP = VBP - COSTO TOTAL$$

Los Costos totales de producción por cultivos se obtienen del Volumen de producción (kg) total multiplicado por el costo de producción unitario (S/. /Ha).

Tabla 67
VNP de la actividad agrícola en las comunidades Sin Proyecto

RUBRO	SUPERFICIE		RENDIMIENTO (Kg/Ha)	VOLUMEN (Kg.)	PRECIO (S/.Kg.)	VBP (S/.)	COSTO (S/Ha.)	COSTO TOTAL (S/.)	MARGEN NETO (S/.)	MARGEN NETO %
	Ha.	%								
PRODUCCION AGRICOLA - SAN PEDRO										
Papa	110.00	20	11500	1,265,000.00	0.67	847,550.00	5,475.36	602,289.60	245,260.40	64.15
Habas	57.00	10	2200	125,400.00	0.42	52,668.00	936.56	53383.92	-715.92	-0.19
Trigo	163.00	29	1000	163,000.00	1.77	288,510.00	1,000.00	163000	125,510.00	32.83
Maiz	60.00	11	2100	126,000.00	1.09	137,340.00	2,213.58	132814.80	4,525.20	1.18
Cebada	163.00	29	700	114,100.00	0.83	94,703.00	533.40	86944.20	7,758.80	2.03
Sub Total	553.00	100.00	17500	1,793,500.00	4.78	1,420,771.00	10,158.90	1038432.52	382,338.48	54.11
PRODUCCION AGRICOLA - SANTA CRUZ										
Papa	53.00	15	11500	609,500.00	0.67	408,365.00	5,475.36	290,194.00	118,171.00	36.00
Alfalfa	35.00	10	20000	700,000.00	0.24	168,000.00	1,200.00	42,000.00	126,000.00	38.85
Trigo	90.00	25	1000	90,000.00	1.77	159,300.00	1,000.00	90,000.00	69,300.00	21.37
Maiz	88.00	25	2100	184,800.00	1.09	201,432.00	2,213.58	194,795.00	6,637.00	2.05
Cebada	88.00	25	700	61,600.00	0.83	51,128.00	533.40	46,939.00	4,189.00	1.29
Sub Total	354.00	100.00	35300	1,645,900.00	4.6	988,225.00	10,422.34	663,928.32	324,296.68	45.89
TOTAL						2,408,996.00		1,702,360.80	706,635.16	100.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Tabla 68

VNP de la actividad agrícola en las comunidades Con Proyecto

RUBRO	SUPERFICIE		RENDIMIENTO (Kg/Ha)	VOLUMEN (Kg.)	PRECIO (\$/Kg.)	VBP (\$/.)	COSTO (\$/Ha.)	COSTO TOTAL (\$/)	MARGEN NETO (\$/)	MARGEN NETO (%)
	Ha.	%								
PRODUCCION AGRICOLA - SAN PEDRO										
Papa	129.00	20.03	12,000.00	1,548,000.00	0.67	1,037,160.00	5,475.36	706,321.44	330,838.56	34.77%
Habas	65.00	10.09	2,500.00	162,500.00	0.42	68,250.00	936.56	60,876.40	7,373.60	0.77%
Trigo	193.00	29.97	1,236.00	238,548.00	1.77	422,229.96	1,000.00	193,000.00	229,229.96	24.09%
Maíz	64.00	9.94	2,500.00	160,000.00	1.09	174,400.00	2,213.58	141,669.12	32,730.88	3.44%
Cebada	193.00	29.97	750.00	144,750.00	0.83	120,142.50	533.40	102,946.20	17,196.30	1.81%
Sub Total	644.00	100.00	18,986.00	2,253,798.00	4.78	1,822,182.46	10,158.90	1,204,813.16	617,369.30	64.87%
PRODUCCION AGRICOLA -SANTA CRUZ										
Papa	60.00	15.15	12,000.00	720,000.00	0.67	482,400.00	5,475.36	328,521.60	153,878.40	16.17%
Alfalfa	40.00	10.10	2,500.00	100,000.00	0.42	42,000.00	936.56	37,462.40	4,537.60	0.48%
Trigo	98.00	24.75	1,236.00	121,128.00	1.77	214,396.56	1,000.00	98,000.00	116,396.56	12.23%
Maíz	99.00	25.00	2,500.00	247,500.00	1.09	269,775.00	2,213.58	219,144.42	50,630.58	5.32%
Cebada	99.00	25.00	750.00	74,250.00	0.83	61,627.50	533.40	52,806.60	8,820.90	0.93%
Sub Total	396.00	100.00	42,486.00	1,262,878.00	4.60	1,070,199.06	10,158.90	735,935.02	334,264.04	35.13%
TOTAL						2,892,381.52		1,940,748.18	951,633.34	100

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Los beneficios a precios mercado incrementales del Proyecto se calculan con la diferencia entre los beneficios en la situación “con proyecto” menos la situación “sin proyecto”, de todas las variables involucradas.

En resumen, la implementación del Proyecto generará un ingreso incremental total de S/.294,820.14 anuales, equivalente a un ingreso incremental acumulado durante el período de 10 años, en S. / 2'948,201.40, esto debido al incremento del área total de cultivo, pues con el proyecto se puede garantizar el volumen de agua captado.

El detalle de los beneficios principales se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 69

Beneficios incrementales con proyecto precios mercado

CONCEPTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
INGRESOS POR VENTA DE AGUA										
Sin Proyecto	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00	20,575.00
Volumen MMC	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49	13.49
Tarifa por m3	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204	0.001525204
Con Proyecto	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00
Volumen MMC	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45
Tarifa por m3	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644	0.00455644
Ingreso por venta de agua incremental	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00
VALOR NETO DE PRODUCCION										
VNP sin proyecto	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20	706,635.20
Valor bruto de producción (VBP)	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00	2,408,996.00
Costo total	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80	1,702,360.80
VNP con proyecto	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34	951,633.34
Valor bruto de producción (VBP)	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52	2,892,381.52
Costo total	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18	1,940,748.18
VNP incremental	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14
Total beneficios incrementales	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

7.2 Indicadores de Rentabilidad del Proyecto

La metodología empleada para la evaluación privada del proyecto es la de costo/beneficio. Se utilizarán los indicadores del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Para calcular el costo/beneficio del Proyecto, se ha elaborado el Flujo de Caja del Proyecto a precios de mercado en el horizonte de evaluación de 10 años, con los siguientes flujos de beneficios y costos incrementales a precios privados más relevantes:

a) Flujos de beneficios incrementales

- Ingresos por venta de agua
- Ingresos por VPN agrícola

b) Flujos de costos incrementales

- Costos de inversión
- Costos de operación y mantenimiento

Los flujos de costos y flujos de beneficios en el horizonte de evaluación se han descontado a una tasa anual del 10%, similar al costo de oportunidad de los fondos de inversión pública, según el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

El detalle de estos cálculos se presenta en la ***Tabla 70 Flujo de caja y evaluación del proyecto a precios privados***.

Tabla 70

Flujo de caja y evaluación del proyecto a precios privados

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
FLUJO DE BENEFICIOS											
Ingreso por venta de agua	0.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00	49,822.00
Valor neto de producción	0.00	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14	244,998.14
TOTAL BENEFICIOS	0.00	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14	294,820.14
FLUJO DE COSTOS											
INVERSION INICIAL	591,877.10										
Costos de O&M	0.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00
Operación	0.00	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20	42,238.20
Mantenimiento	0.00	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80	28,158.80
TOTAL DE COSTOS	591,877.10	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00	70,397.00
FLUJO DE CAJA	-591,877.10	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14	224,423.14
Tasa de descuento = 10%	1.00	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.47	0.42	0.39
VALOR ACTUAL DE FLUJO DE CAJA NETO	-591,877.10	204,021.04	185,473.67	168,612.43	153,284.02	139,349.11	126,681.01	115,164.56	104,695.05	95,177.32	86,524.84

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Los resultados de la evaluación privada de la Alternativa planteada, empleando el método costo/beneficio con el Proyecto, a precios mercado, resultan:

Tabla 71

Resultados de la evaluación privada de la Alternativa planteada

CRITERIO	RESULTADO
VAN	787,105.95
TIR	23.81%
B/C	2.27

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Con este resultado podemos concluir que la propuesta analizada es óptima y resulta rentable para beneficiar a las comunidades campesinas de San Pedro y Santa Cruz.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- La realización del estudio de viabilidad técnico-económico de la bocatoma, sí será rentable a lo largo del tiempo y permitirá la mejora económica de los agricultores pertenecientes a dichas comunidades.
- La demanda hídrica requerida para desarrollar las 1040 hectáreas de cultivo en las comunidades San Pedro y Santa Cruz alcanzan un caudal de demanda máxima de 0.85 m³/s y alcanzan un volumen anual total de 15'450,000.00 m³.
- La disponibilidad hídrica para agricultura estimada al 75% de persistencia en el área del proyecto fluctúa entre el mínimo de 0.32 m³/s para el mes de mayo y el máximo de 6.48 m³/s para el mes de febrero, siendo en promedio anual de 1.57 m³/s. Los caudales medios mensuales generados mostraron buena concordancia con los caudales observados en campo, realizándose una calibración del mismo. Asimismo, el análisis de máximas avenidas del río San Pedro dio como resultado un caudal de 44.26 m³/s, para un periodo de retorno de 50 años.
- En el diseño a nivel preliminar de las principales obras civiles se tuvo presente siempre el factor económico, es decir que se buscó dimensionar las distintas estructuras cumpliendo con los requerimientos de funcionalidad y rentabilidad, es decir buscando la eficiencia en el diseño. El diseño hidráulico elaborado llegó a obtener un ancho de barraje de 10.00 m, la captación está compuesta de una ventana de captación de 3.0 m de largo por 0.60 m de alto, la altura del barraje es de 1.4 m., que presentará un perfil tipo Creager. El ancho de canal de limpia es de 5.0 m, longitud del colchón dissipador es de 13.15 m, teniendo una longitud total de la estructura de dissipación es de 16.15 m. con espesor de solado de 1.25 m. y longitud de escollera de 3.0 m.
- El costo total del proyecto es de S/. 591,877.10 (nuevos soles), este costo considero las obras preliminares, las obras civiles, los costos indirectos y de la administración de la obra. Los costos de operación y mantenimiento alcanzan a un promedio anual de S/. 70,397.00 en el horizonte de operación del Proyecto, que serán completamente financiados por las comisiones de regantes de las comunidades San Pedro y Santa Cruz, con un costo de agua por metro cubico de S/. 0,004556/m³ en la situación con

proyecto y en la situación con proyecto se generará un ingreso adicional neto total de S/. 49,822.00 anuales, debido al aumento de volumen de captación.

- La implementación del Proyecto generará un ingreso incremental total de S/.294,820.14, debido al incremento del área total de cultivo, pues con el proyecto se puede garantizar que el volumen de agua captado aumente a 15.45 MMC por año. Los resultados de la evaluación privada del proyecto planteada, empleando el método costo/beneficio con el Proyecto, a precios privados, resultan: TIR de 23.81 %, con un VAN de S/. 787,105.95, un B/C de 2.27.

8.2 Recomendaciones

- Puesto que la medición del flujo del río San Pedro, es realizado en la estación de control Checcapampa, en el que en la actualidad no se cuenta con el más mínimo equipo de medición; se sugiere realizar las gestiones necesarias que permita la instalación de una nueva estación de aforos en el lugar.
- Para determinar un adecuado ancho de encauzamiento, es necesario poder contar con la topografía adecuada, en la zona en que se realizará el proyecto.
- Para poder salvar esta diferencia se debe de construir un reservorio que almacene agua en épocas de avenida y en épocas de estiaje regule el caudal necesario y compense la diferencia existente en el balance hídrico de la Subcuenca San Pedro, la proyección de este tipo de obras hidráulicas no se está evaluando en la presente investigación, pero si se recomienda su proyección y su evaluación en futuras investigaciones en la zona de estudio.
- Puesto que la bocatoma es una estructura muy importante para el éxito de un proyecto de aprovechamiento hídrico su diseño debe ofrecer el máximo de seguridad.
- Se recomienda realizar el estudio detallado de canteras con la finalidad de realizar un diseño de mezclas coherente con los materiales de la zona.
- Se sugiere realizar un estudio de sedimentación a fin de verificar los niveles de las obras de purga y evitar pérdidas en los volúmenes de captación de la bocatoma.

REFERENCIAS

(ANA) (2015). *Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y de Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

(ANA) (2016). "*Metodología para Determinar Caudales Ecológicos*". Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

(INRENA) (2004). *Instituto Nacional de Recursos Naturales*. Lima, Perú.

AGUIRRE N., M. (1992). "*Análisis y Aplicación de Modelos Matemáticos para la Generación de Caudales en Cuencas de la Región*". Cusco, Perú.

ANA (2010). *Recursos hídricos del Perú*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

ANA (2011). *Criterios de diseños de obras hidráulicas para formulación de proyectos*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

ANA (2011). *Estudio de inventario de fuentes de aguas superficiales de la cuenca del río Acarí*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

ANA (2011). *Estudio Integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Acarí y Yauca*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

ANA (2012). *Plan Nacional de Recursos hídricos*, Lima, Minagri. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

CHEREQUE, Wendor, (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. (PUPC).

CHOW, V. T., Conti, M., & Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill Interamericana. Santafé de Bogotá.

DAVILA. Raul y VEGA. Jorge. (2018). *Análisis y diseño de bocatoma para dotar agua de riego a la comunidad Lúculo - Lunahuaná – Cañete – Lima* . Universidad San Martín de Porres. Lima.

EGÚSQUIZA Jacobo, Carlos Andrés (2010). "*Tratamiento de los Efectos de la Socavación en los Estribos del Puente Matachico Carretera La Oroya-Huancayo*". Lima. Perú.

FAO (2006). *Estudio FAO riego y drenaje. Evapotranspiración de cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia.

FAO. *Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO. Rome, Italy.

GARCIA, Eduardo (2009). *Manual práctico de pequeñas irrigaciones*. Lima. FONDO PERU – ALEMANIA.

INEI (2012). *Resultados Definitivos: Censo Nacional Agropecuario 2012*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú.

INEI (2017). *Resultados Definitivos: Censo Nacional 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Lima, Perú.

KROCHIN, Sviatoslav (1978). *Diseño Hidráulico. Segunda Edición*. Editorial de la Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

LIBELULA (2011). *Diagnóstico de la Agricultura en el Perú. Informe Final*. Lima, Perú.

LLAMAS, J. (1993) *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

LUTZ SCHULZ (1980). *Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana. “Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones – Plan Meris II”*. Lima, Perú.

MANSEN V. Alfredo (2007). *Diseño de bocatomas*. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería.

MDH (2012). *Estudio de Ingeniería de Detalle para el Diseño de la Presa Yanamayo. Preparado para: Comunidades Campesinas de San Pedro y Santa Cruz. Perforaciones Diamantinas Tuneles Geotecnia*. Lima, Perú.

MINAGRI (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, DGIAR.

MTC (2004) *Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Laboratorio DEE.

PARDO. Rafael. (2019) *Disipadores de energía. Parte III: Estanque amortiguador en soleras con pendiente disipador tipo bloque de impacto*. Centro de Investigaciones Hidráulicas, CIH Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE. La Habana.

PETERKA A. J. (1984). *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. Engineering monograph No. 25*. USBR. Denver, Colorado, USA

Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable PROAGRO (2011) *Presas derivadoras*, Cochabamba, PROAGRO.

ROCHA Arturo (2007). *Hidráulica de tuberías y Canales*. Primera Edición, Lima, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería.

ROJAS, Hugo (2011). *Lineamientos para el Diseño de Tomas de Captación del Manual de Estructuras Hidráulicas*. Chimbote, Perú. Universidad Nacional del Santa.

SEGARPA (2012). *Obras de Toma para Aprovechamientos Hidráulicos*. “Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación”. Ciudad de Mexico, SEGARPA.

SOTELO, Gilberto (1994). *Diseño Hidráulico de Estructuras*. Capítulo VIII. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

TARAZONA, Edilberto (2012). *Generación de descargas mensual de en subcuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de Lutz Scholz*. Lima, UNALM.

VÁSQUEZ, A. (2000) “Manejo de de cuencas altoandinas” Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Peru

ZEGARRA, Eduardo y TUESTA, Jorge (2009). *Crecimiento agrícola, pobreza y desigualdad en el Perú rural. El: Boom agrícola, pobreza y desigualdad en el Perú rural*. Roma: FAO. p. 299-329.

ANEXOS

Anexo 1: Planos

En el anexo 1, se presentan los planos de Ubicación Política (MP-01), la Ubicación Hidrográfica de la cuenca (MP-02) y los planos del proyecto de la Bocatoma.

Leyenda

- Centros Poblados
- Red vial Nacional
- Limites Distritales
- Lagos
- Area Cuenca San Pedro

SAN PEDRO Y SANTA CRUZ	
LAMINA: MP-01	Autor: Alumnos Tesitas
FECHA: 02/11/2016	Plano: UBICACION POLITICA
1:250 000	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 100px; border-bottom: 1px solid black; position: relative; margin-right: 5px;"> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 2px;"> 0 0.5 1 2 3 4 </div> </div> <div style="text-align: right; font-size: 8px;">Kilometers</div>

Leyenda

- Lagos
- AreaCuenca
- Limite de distritos

SAN PEDRO Y SANTA CRUZ	
LAMINA: MP-02	Autor: Tesistas
FECHA: 02/11/2016	Plano: HIDROGRAFIA
1:250 000	0 0,5 1 2 3 4 Kilometers

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS	
TESIS: "DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTUDIO DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO DE LA BOCATOMA SAN PEDRO PARA ABASTECER LAS ZONAS AGRÍCOLAS DE SAN PEDRO Y SANTA CRUZ EN LA REGIÓN AYACUCHO"	
LAMINA: PL-01	ELABORADO POR: CONTRERAS CUSI, LEONID Y VILLEGAS MACEDO, ALEJANDRO
FECHA: 06/04/2019	PLANO: BOCATOMA SAN PEDRO
ESCALA: INDICADAS	DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: LUCANAS DISTRITO: PUQUIO
DISEÑO ELABORADO POR LOS ALUMNOS TESISISTAS	

Anexo 2: Estudio Hidrológico

En el anexo 2, se presentan las temperaturas máximas y mínimas de la estación Cecchapampa (2011-2018) y la información Pluviométrica de las 4 estaciones (San Pedro Cecchapampa, Puquio y Ceccana).

REGISTRO METEOROLOGICO TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2011 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.4	15.8	18	16.8	18.6	16.6	17.4	18.8	21.8	18.2	18.4	19.6
2	16.8	16.6	17.2	17.4	19.4	15.8	15	18	20.4	17.6	18.8	17.4
3	16.6	17	16.2	16.6	19.8	15.2	12.8	19.6	17.8	18.6	18.2	19.2
4	15.4	17.6	12.6	15.8	19.2	15.6	13.2	17.4	17	17.4	18.6	17
5	16.4	16.4	12.2	16.6	20.4	17.2	15.4	18.2	17.6	17	20.4	16.2
6	15.2	15.6	15.8	15.4	21.2	17.6	17.4	17.4	19.2	18.2	19.6	16.8
7	16	13.2	16.4	14.8	20.8	16.8	17.8	17	18.4	17.8	18.4	16.6
8	17.8	13	15	17.6	21.4	17.6	19.4	20.6	20.6	18.4	17.2	17.2
9	17	14.8	13.4	16.2	21.8	19	16.2	21.2	16.4	17.6	18.6	16.4
10	16.8	15.2	15.2	15.8	16.2	20.6	18.6	20.4	16.8	17.2	17.4	15
11	15.4	15.6	13.8	16.2	18.6	19.8	17.8	19.8	22.2	17.6	18.2	16.4
12	14.6	15	13.6	16.6	19.2	21.6	18.4	20.2	21.8	16.6	16.6	17
13	16.2	15.6	15.4	16	17.8	20.6	17.6	17.4	20.2	15.4	17.2	16.2
14	17.2	13.8	15.2	16.6	16.2	19.2	16.8	19.8	19.6	16.4	17.6	16.6
15	16.8	15.4	14.8	17.4	16.8	18.6	14.6	17.2	19	17.2	17.2	14.2
16	17.4	15.8	15.6	18.2	17.4	17.8	17.4	18.4	18.2	16	16.6	15
17	16.4	14.6	16.2	18.8	16.2	15.6	18.2	17.8	16.8	16.8	17.6	15.6
18	15.4	15.4	15.6	16.6	15.8	16.6	18.8	18.2	16.2	15.6	16.4	16.4
19	16.6	16.2	14.8	17.8	15.6	15.2	16.6	18.6	19.4	15.4	16	15.8
20	16.2	15	15.2	17	17.4	15.6	18.2	16.4	20.2	16.8	17.4	16.2
21	13.2	16.4	15.8	15.8	16.2	15.2	20.8	15.8	18.4	15.6	17	17.4
22	15.2	16.8	15.4	16.2	14.4	14.8	21.2	15.4	17.6	17.2	17.6	16.8
23	15.6	17.2	15.8	15.8	15.2	17.4	20.6	17.4	18.8	15.8	19	18.6
24	15.2	16.4	15.2	17.6	17.4	18.8	20.2	17.8	18.2	19.8	18.6	19.6
25	15.6	13	17.8	17.2	18	21.2	21.4	18.2	20.4	18.4	18.2	16.8
26	15.2	14.6	18.2	16.6	19.6	20.8	20.2	18.4	20.8	17.4	19	19.2
27	14.6	16.4	17.4	18.8	21.4	17.4	17	18.6	19.6	20.2	17.4	21.8
28	15.6	17.2	19	17.2	19.6	17	15.8	19	20.8	20.8	16.6	18.2
29	14.2		18.6	16.6	21.8	16.6	17.4	21.8	20	18.6	17.4	16.8
30	13.6		17.4	17.2	20	16.2	15.8	20.4	19.6	17.8	19.2	15.2
31	16.4		16.8		21		16.6	22.2		17.4		14.2
Temperatura promedio	15.84	15.56	15.79	16.77	18.53	17.60	17.57	18.63	19.13	17.45	17.88	16.95

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2011 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	4.8	7.4	3.8	6.2	4.8	4.4	0.2	0.4	5.6	3.4	3.2	2.2
2	5.2	8.2	2.2	6.8	6.2	1.6	1.2	1.2	7.8	2.8	3.6	4
3	6.4	8.8	3.6	5.8	6.6	2	3.8	-0.4	5.2	6.4	5.8	4.8
4	6	8.4	4.8	4	5.8	2.6	4.8	1.2	7.4	1.2	5.6	5.6
5	4.6	8.8	4	4.8	6.2	3	4.2	4.4	3.8	2.2	5.2	4
6	5.4	8.4	4.6	7.2	3.8	1.4	4.6	5.6	5.4	2.8	3.4	3.6
7	4.8	8.6	5	6.6	4.2	0.6	3.8	5.8	2.6	4.2	2.8	5.4
8	5.6	7.4	4.6	4.8	7.6	1.8	4.2	5	3	5.6	4.6	4.8
9	7.8	3.6	6.2	5.6	7.4	0.2	2.4	5.4	1.8	7.2	5.4	5.2
10	3.6	7.4	4	7	6.8	0.8	2.8	5.8	1	6.8	5	6.4
11	8.2	6.2	2.6	4.8	4.8	4.4	3.4	5.2	3.8	4	5.6	6.2
12	6.6	7.4	2	4.4	4.4	4	2.8	4.4	7.6	1.2	5.8	4.6
13	6.4	5.8	4.8	2.6	5	4.8	2.4	4	5.4	0.8	4.6	5.8
14	6.8	6.2	5.6	3	3.4	5.4	1.6	4.8	4.8	0.6	4.2	6.4
15	7.2	7.2	6.2	3.6	2.6	3.8	0.2	3.8	4.2	1	3.8	7
16	6.6	4.4	5.8	5.4	2.2	2.6	-0.8	2.6	3.8	1.4	5.4	5.8
17	6	5	6	8	1.6	3.4	-0.6	3.4	2.9	0.8	5	5.4
18	6.4	6.2	6.8	5.6	0.4	1.8	0.2	2	3.4	1.6	7.2	4.8
19	6	7.2	5.6	6	0.6	2.4	0.8	1.4	5.2	1.2	6.8	2.6
20	5.8	6.8	6	5.2	0.5	1.4	1.6	2	4.8	2	6.2	3.4
21	6.4	7.2	6.6	4.6	1.4	2	3.2	2.6	4	2.4	3.8	7.6
22	6.6	6.6	5.2	4	2	3.2	4.4	0.4	3.8	1.8	5	6.4
23	7.2	7.8	6.4	3.6	3.6	3.6	3.8	0.2	2.6	3.2	7.4	7
24	6.6	7.2	5.8	6.2	3.2	3.2	5.4	0.8	3.4	3.6	5.8	6.6
25	5.4	6.6	5.4	5.8	2.6	2	3.6	2.4	4.8	3.2	5.4	6.2
26	5.8	5.2	5.8	5.4	3.8	5.4	3.8	4	6.2	4.8	4.6	7.4
27	6.4	4.8	6.2	6	6	4.8	5.2	3.4	7	6.6	5.2	8.2
28	6.8	5.6	5.8	5.6	5.8	2	1.4	1.4	4.2	8.4	4.8	8.8
29	7.4		7.2	4.2	5.2	1.4	0.2	4.2	6.6	7.8	4.2	8
30	7.8		2.6	2.8	4.8	0.4	-1.2	6.4	6.2	4.6	5.6	8.4
31	8.2		6.8		5.2		-0.4	8		4.2		6.8

Temperatura promedio	6.28	6.80	5.10	5.19	4.15	2.68	2.35	3.28	4.61	3.48	5.03	5.79
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2012 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.4	17.8	16.8	18.8	17.2	20.6	18.4	19.8	19.4	18.8	16.6	17.4
2	16	15.4	17.6	20.6	17.4	19.2	18.8	17.4	18.2	21.2	19	15.8
3	16.4	18.6	18.4	16.8	18.6	17.4	17.6	18.8	20.4	19.4	18.6	14.6
4	15	16.8	17.2	15.6	18	17.6	16.4	21	20.2	18.6	17.8	15.4
5	13.2	18.2	17	17.4	18.6	16.8	15.8	21.6	20.8	17.8	17	16.2
6	15.4	15.4	17.6	15.4	19.4	16.2	17	22.6	21.4	18.4	18.4	15.6
7	16.2	16.6	16.4	16.6	19.8	19.2	19.6	22.2	19.8	18	17.6	16.2
8	15.6	14.4	17.2	16.4	20.2	19.8	19.2	23	20.4	17.2	16.8	18.8
9	16.6	15.6	17.6	15.4	18.6	19.2	20	22.4	22.6	20.4	18.2	19.6
10	17.4	14.6	15.8	15.8	17.4	20	21.4	21.2	20.2	18.8	19.4	19.2
11	16.6	15.4	18.2	14.4	18.2	19.6	19.4	19.6	19.6	18.2	18.8	18.4
12	17.2	14.8	17.6	14.8	20.8	18.4	19.8	19	18.2	19	19.6	16.8
13	18.4	15.4	18.2	14.2	17.4	19	21.6	18.4	19.4	17.2	19.2	16.4
14	18.8	16.2	18.6	16.4	19.2	17.8	17.8	18	20.6	18.8	18.6	14.6
15	18.4	15.8	19.2	15.4	19.6	19.2	19.6	16.8	20.2	20.6	19.4	14.2
16	18.2	15.2	17.6	16.6	20.2	18.4	21.4	15.6	19.4	19.4	17.2	14.8
17	17.6	15.8	17	15.8	19.8	17.6	20.8	17.2	18.4	17.6	17.8	15.2
18	16.4	15.4	15.2	17.4	16.6	18.2	20.2	1.6	17.8	17.2	17	13.4
19	17.2	15.2	16.6	16.4	17.8	15.6	21	18	19.6	18.6	18.2	14.6
20	15.4	14.8	15.8	17.2	19	15.2	19.6	19.8	17.4	17.4	17.6	16.4
21	15.8	16.6	16.4	17.6	19.6	15.8	20.4	19.2	18.2	18.6	18.8	17.2
22	17.4	15.6	17.6	16.2	20	17.6	21.6	16.8	19.6	17.4	18.2	16.2
23	16.8	14.8	15.8	19.4	19.2	19.8	18.4	18.6	20.2	18.6	19.4	19
24	17.6	15.2	14.8	16.6	19.6	18.2	18	19.8	19.4	16.8	19.8	15.4
25	15.4	16.8	16.4	17.4	19.2	18.6	20.4	18.4	18.6	21.4	19.2	18.2
26	15	16.4	16.8	17.8	19.8	19.8	18.2	17.8	20.8	18.2	18.8	17.8
27	17.6	14.6	16	17.4	21.2	20.4	19.4	22.4	18.6	17.4	20.6	18.4
28	18.4	15.2	15.2	16.6	22.4	18.6	16.8	21.2	20.4	18.8	18.6	17.6
29	17.2	15.8	17.4	16.2	21.2	18.2	17.6	20.4	19.2	18.4	17.8	17.2
30	17.8		20.4	17.4	20.4	17.6	15.4	20.8	20.6	17.6	17.4	16.4
31	17.2		19		21.8		19	19.6		18.2		17.6
Temperatura promedio	16.73	15.81	17.14	16.67	19.30	18.32	19.05	19.00	19.65	18.52	18.38	16.60

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2012 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febre	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	7.6	5.4	6.6	8.2	2.8	3.2	3.2	3.2	2.8	5.8	5.4	5.6
2	8.2	7.6	7.4	6.8	4.6	4.4	1.8	3	3.6	4	5.8	6.2
3	7	7.2	7.8	8.4	3.8	3	3.2	2.2	3.2	2.8	5.4	5.8
4	6.8	7.8	7.4	8	4.2	1.4	1.6	1.8	3.8	2.4	6.2	7
5	6.4	7.4	6.6	7.6	3.8	1.2	0.2	2.6	4.2	2	7.4	6.6
6	6	8.2	4.8	5.8	1.6	2.2	0.4	5	6.8	1.6	4.8	6.2
7	6.8	7.6	5.6	5.4	3	4.4	1.2	3.2	5.6	2.8	4.4	6.8
8	6.2	8	7.4	5.2	3.8	4.8	5.8	2.8	6.2	5.4	4	7.6
9	5.4	7.2	6.8	6.4	5.2	2.4	2.8	6.2	7.8	6.2	3.6	8.4
10	4.6	6.8	5.2	3.6	3.8	3.4	4.2	3.4	8.6	2.6	4.8	7.4
11	4.2	7.2	7.4	4.2	3	3	3.6	1.8	5.8	1.8	5.2	6.6
12	4	7.6	6.8	5.4	3.6	2.6	2.4	2.2	5.4	2.2	6.4	5.2
13	5.2	6.6	6.2	3.6	3.2	2.2	2.8	0.8	6.2	3.4	6.8	4.8
14	5	7.4	5.4	3.2	1.4	3	2.4	2.2	5.2	4.6	7.4	4.2
15	5.6	6.2	7.8	3.6	0.8	1.4	2.8	0.2	6.6	5.8	6.6	5.4
16	4.8	5.8	7.4	5.4	0.6	1.8	1.2	0.8	5.8	5.2	4.8	6.8
17	5.4	5.6	6.2	6.2	0.8	1.6	0.8	0.4	5.2	4	5.6	7.4
18	6.8	5.2	5.8	6	1.8	1.8	4	0.8	4	4.8	6.8	6.8
19	5.6	6.6	5.2	5.2	2.2	1.4	3.4	2.4	3.4	5.4	5.4	6.2
20	6.2	7	6.6	5.6	1.8	-0.8	2.8	-1.6	0.8	4.8	4.8	5.8
21	6.6	5.2	6.2	6.2	2	0.6	3.2	-0.8	0.4	6.2	6.2	5.4
22	7	6.4	5.8	5.6	2.4	-1	4.4	2.6	1.8	5.2	4.4	5.8
23	7.6	7.2	7	6.2	1.8	1.6	2.2	2.4	4.4	3.8	4.6	5.4
24	6.2	6.8	3.8	5.8	2.2	4.4	1.8	2	3.6	4.4	4	6.8
25	5.8	5.4	3.2	4.2	1.8	3.2	2.2	3.2	4.2	5.2	4.6	5.6
26	4.4	4.2	5.4	4.6	0.8	2.8	3.6	2.4	6.4	6.4	4.2	6.4
27	5.8	5.8	7.6	4.2	1.6	3.6	4.2	3	9.8	8	5.4	7
28	8.2	5.4	8	2	4.8	2.8	3.6	3.8	5.2	4.6	5.8	6.2
29	7.6	6.2	5.8	2.4	4.4	1.8	1.2	5.4	5.8	7.8	5.4	5.8
30	6.6		6.6	2.8	3.2	2	2.8	3.2	6.4	8.2	4.2	6.6
31	6		8.4		3.8		3.8	4		5.8		5.2
Temperatura promedio	6.12	6.59	6.39	5.26	2.73	2.34	2.70	2.41	4.97	4.62	5.35	6.23

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2013 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18.6	18.4	15.8	19.4	17.2	17.2	17.2	17.6	20.2	17.6	17	18.2
2	18.2	18	14.8	18.6	17.6	19.8	15.6	20	19.6	19.2	18.6	16.6
3	17.2	17.4	15.2	18	20	21.2	16.6	20.8	21.4	19.8	16.2	18.2
4	20.4	16.6	16.4	18.4	20.6	20.4	17.8	22.6	17.2	18.6	15.8	20.6
5	18.6	18.4	15.6	17.6	17.4	18.2	21.2	21.8	18.6	17.8	18.6	16
6	17.4	16.2	17.2	19.4	18.8	20.4	19.8	20.6	21.4	9.2	18.2	17.4
7	17.8	16.6	15.6	18.6	18.2	16.2	19.2	19.4	21.8	19.8	19.6	18.6
8	21.4	16.2	17.4	19	18.6	18.8	19.6	18.2	20.6	19	18.2	16.4
9	20.8	15	17.8	18.2	17.4	19.6	18.8	18.6	19.8	19.6	19.8	17.2
10	21.6	15.6	18.4	18.8	17.8	18.4	19.4	17.8	18.6	18.4	19.2	16.4
11	18.8	15.4	18.8	19.2	17.2	17.8	19.8	18.4	19.6	19.2	18.4	17.8
12	17.8	15.8	17.8	18.8	17.6	16.2	19.2	18.8	17.4	18.8	19.6	17.2
13	16.6	16.4	16.6	21.2	18.8	16.6	17.4	20.4	18	17.2	20	18.6
14	17.2	15.6	16.2	20.4	18.2	18.2	18.2	19.6	18.8	21.4	20.4	15.8
15	13.8	17.2	15.6	19.4	17.6	19.2	16.6	19.2	20.2	18.2	20.8	18.4
16	14.2	17	14.8	19.8	15.4	18.8	18.4	20.6	20.8	19.4	19.4	19.6
17	14.6	17.4	17.6	18	13.6	15.6	20.2	20.2	21.4	18.6	18.4	18.4
18	16.4	16.8	16.4	18.8	12.4	16	18.6	16.8	20.8	20.4	17.6	19.6
19	16.8	19	17	17.2	14.6	17.8	15.6	16.2	19.6	21.2	16.8	17.8
20	19.2	18.2	17.6	18.4	18.4	18.6	17.2	20.4	17.6	18.4	18.2	17.4
21	19.8	18.8	16.8	19.8	18	18.2	16.4	21.6	18.4	18.8	15.4	17.8
22	18.6	15.8	15.4	20.4	17.2	18.8	17.6	18.2	21.6	17.6	16.6	18.2
23	19	16.6	17.4	18.4	15.8	15.6	19.2	17.4	22.4	18.2	18.2	17.6
24	18.6	18.4	16.2	19.2	16.6	17.4	16.8	15.2	21.6	18.8	17.6	16.6
25	16.8	17.6	18.6	20.6	18.4	15.2	18.4	18.4	18.8	16.6	17	17
26	18.2	15.4	17.6	18.6	19.6	18.4	18.8	19.2	18.2	17.8	17.6	16.4
27	19.6	16.8	16.8	18.2	18.6	18.8	21.6	18.4	18.6	18.8	18.4	17.8
28	20.2	15.6	16.4	17.6	17.4	20.4	20.8	15.6	17.8	17.6	18.8	9.2
29	20.8		19.6	18.4	16.4	19.8	19.6	17.4	17	18.8	17.2	20.4
30	20.2		18.2	17.6	18	16.8	22.2	18.6	18.2	18.2	18.6	19.2
31	18.8		19.4		17.4		20.8	19.2		17.8		17.6

Temperatura promedio	18.32	16.86	16.94	18.87	17.45	18.15	18.66	18.94	24.99	18.41	18.21	17.55
----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2013 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	4.8	5.6	7.4	5.6	3.4	0.2	1.4	3.8	2.8	2.4	2.2	5.8
2	5.6	5.2	8.2	4.8	4.2	0.6	1.8	0.8	0.8	3.8	1.4	5.4
3	6.4	6.6	6.6	5.4	4.8	1.6	0.4	2.6	1.2	3.2	2.6	7
4	7.6	7	7.4	6.2	4	4.2	1.2	2.8	1.8	5.8	5.4	7.8
5	8.2	8.2	7	4.4	2.2	3.4	2	4.2	3.4	3.6	4.2	7.2
6	5.8	7.8	7.4	2.2	4.4	3.8	3.2	7.8	2.8	2.8	3.8	6.6
7	6.4	9.2	7	2.8	3.8	6.4	4.4	5.6	6.4	4.6	5.2	6.2
8	6.8	7	7.6	4.2	3.4	4.8	4	3.8	5.2	5.2	4.4	7.6
9	8.2	7.4	7.2	3.8	4.2	7.2	4.4	3	5.6	3.8	5.2	5.4
10	7.8	6.8	6.8	2	3	3.6	2.2	1.4	4.4	4.6	4.8	5.8
11	8.2	6.2	6.4	1.6	3.6	3.2	3.4	0.8	3.8	2.8	1.8	6.6
12	7.6	5.8	5.6	2.2	3.2	4	2.6	1.2	2.6	2.2	2.4	6.8
13	7.4	6.4	6	2.6	2.4	5.2	1.2	1.8	2.2	2.8	4.2	6.2
14	7.8	6.8	5.4	3.4	3.6	0.4	2.6	2.2	1	4.6	5.6	6
15	8.4	6.4	5.8	4.2	4.4	2.8	4.4	3.4	1.8	6.6	5.2	6.6
16	6.6	7.8	6.4	4.6	5.2	2.2	6.8	2.8	2.6	3.8	5.6	5.2
17	6.8	5.6	7.8	1.8	3.8	1.2	5.4	5.2	3	3.4	6.2	5.6
18	7.4	4.8	7.2	2.4	4.6	0.8	4.8	6.6	2.6	2.8	5.8	6
19	7	5.2	4.8	2.8	6.4	1.6	5.6	0.8	3.4	3.6	3.2	4.6
20	5.8	8	3.2	3.4	4.8	3.4	2.4	1.6	4.8	2.8	1.8	3.8
21	4.6	7.2	2.8	2.2	5.2	0.2	1.2	4.2	4.2	2.2	2.2	5.2
22	5.4	7.6	3.2	3.8	4.4	2	2.4	3.4	5	2.8	3.8	3.8
23	6.2	8.4	4	4.2	3.2	3.2	3.6	1.8	6.2	4.4	4.4	7.4
24	7	7.6	2.6	3.6	3.8	3.6	1.2	3.4	7.8	6.6	3.2	5.8
25	4.2	6.4	1.4	3.4	4.6	1.4	1.8	1.6	6.6	7.4	2.6	6.2
26	4.8	6	1.8	2.8	1.4	-0.8	4.6	0.4	5.4	5.6	2.2	5.6
27	5.4	6.6	3.6	1.6	1.8	-1.2	5.2	2.8	4.6	5.2	5	6.6
28	6.6	6.2	4.8	1.2	0.2	-0.2	4.8	5.2	2.6	5.8	3.4	7.4
29	7		5.2	1.6	-0.8	1.6	4.2	4.6	3.2	4.2	4.6	6.8
30	7.6		4.4	3.2	-0.2	2.2	5.4	3.2	2.6	3.8	5.4	6.4
31	7.2		4.8		0.4		2.8	4.8		2.6		6.8
Temperatura promedio	6.66	6.78	5.48	3.27	3.34	2.42	3.27	3.15	3.68	4.06	3.93	6.14

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2014 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18.2	16.4	16.8	19.4	18.6	19	18.8	20.8	18	22.4	17.6	19.2
2	17.4	18.2	14.6	16.6	18.8	19.8	17.6	20	19.4	20.2	18.4	20
3	18.6	19.8	15.6	21.6	17.2	20.4	18.8	19.6	17.6	20.8	19.8	20.8
4	17.4	18.6	16.6	18.8	16.8	20.8	15.8	17.8	18.4	19.4	19.2	20.2
5	18.2	17.6	15.4	21.2	18.8	21.4	18.6	17	19.2	19.8	18.8	17.6
6	18.8	16.4	16.6	22	18.2	21	20.4	16.6	18.4	20.2	21.6	18.4
7	15.8	15.6	15.8	20.6	18.6	19.8	21.6	20.8	21.8	19.6	20.8	18
8	15.2	17.2	15.2	21.4	16.8	21.6	20.2	17.8	21.2	20.4	19.4	19.6
9	15.8	18.4	17.4	17.6	18.2	18.4	21.4	14.8	21.6	17.8	18.6	18.4
10	15.4	19.2	14.6	17.2	17.2	19.4	20.8	17.4	20.8	17	19.2	17.8
11	17.6	17.6	15.8	20.2	17.8	20.6	20.4	18.4	21.4	22.8	18.4	17.2
12	19.2	18.4	15.2	17.8	15.2	19.8	21	20.2	17.2	19.8	17.6	16.6
13	17.6	17.6	15.8	19.6	16.4	21.4	21.6	21.6	17.6	20.6	16.2	18.4
14	18.2	18.4	16.4	20.4	17.6	20.6	20.8	19.8	18.4	22.4	16.6	17.2
15	18.8	17.2	16.8	20.6	19.2	21.2	22.4	21.2	20.2	23	16	18.4
16	17.6	17.8	14.8	18.2	18.8	22.4	20.2	21.8	20.6	22.4	17.2	18
17	18.2	16.6	15.6	17.4	17.6	21.8	21	21.2	16.6	18.4	16.8	18.6
18	18.4	17.2	18.4	18.6	21.2	21.2	19.6	19.6	17.2	18.8	19.6	17.4
19	17.6	18.4	15.2	18.2	20.6	20.2	19.2	20	18.2	17.8	18.4	17.8
20	17	18.8	18.6	18.8	18	20.8	15.8	20.6	17.4	14.2	17.2	18.2
21	17.8	17.6	17.4	17.4	17.4	19.4	19.2	18.4	18.6	17.4	21.2	17.4
22	18.6	18.8	18.6	19.2	14.6	20.6	19.6	16.8	16.4	18	19.4	17
23	17.4	19.4	21.2	18.4	16.6	19.2	19.2	18.6	17	18.6	18.6	18.6
24	18.4	16.2	17.6	19.6	15.6	21.4	20.6	19	19.6	20.2	19.4	17.8
25	17.6	16.6	17	18.2	17.4	17.6	17.2	17.4	19.2	19.4	18	18.4
26	18.8	17.2	16.8	17.6	20.2	18.2	18	16.4	20.6	18.4	19.2	17.8
27	17.2	17.8	15.4	20.4	19.4	19.8	19.8	17.6	19.4	17	18.8	21.6
28	18.4	19.4	18.2	21.8	18.4	21	18.4	16.8	18.6	17.8	20.8	19.8
29	17.6		18.6	16.4	17.8	19.2	18.2	16.2	17.2	18.2	20.2	17.4
30	17		16.4	17.6	18.6	18.6	20.2	16.8	21.6	18.6	19.8	18.4
31	15.6		15.6		19.8		21.4	19.4		17.4		17.4
Temperatura promedio	17.59	17.80	16.58	19.09	17.98	20.22	19.61	18.72	18.98	19.32	18.76	18.37

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2014 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febre	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembr	Octubr	Noviemb	Diciembre
1	4	5.6	6.2	3.6	1.8	0.4	2.2	1.4	6.4	5.6	5.2	6.4
2	4.6	5.8	6.4	5.2	1.6	1.2	1.8	2.8	5.2	6.4	6.6	6.8
3	5.2	4	6.8	5.8	2	2	2.6	4.4	3.8	6	4.8	5.6
4	4.6	2.8	6.2	6.6	6.2	2.6	3.2	3.6	3.2	4.8	2.8	6.2
5	7	3.4	5.2	8.4	4.8	2.2	1.2	3.2	3.4	6.2	4.6	7
6	7.4	5.2	6.4	7.8	3.2	2.6	1.8	1.8	4.2	6.8	8	5.8
7	7.6	5.4	6	7	1.4	1.4	1.4	3	6.4	7.2	7.2	5.4
8	5.8	4.4	6.8	6.6	2.6	0.4	2.6	5.6	5.6	5.2	5.8	5
9	6.2	5.2	5.6	7	1.8	0.2	4.2	7.2	5.2	6.6	4.6	4.6
10	6.6	6	6.8	4.8	1.4	3.6	5.4	2.6	4.4	5.8	5.4	5.2
11	7.2	5.4	7.4	4.4	2	3	4.2	2.2	4.8	6.6	6.6	4.8
12	6.8	4.8	5.8	5.6	1.6	2.4	3.4	3.4	5.6	10.2	4.2	5.4
13	6.4	4.4	6	6.8	0.8	2.2	3.8	5.2	2.6	6.4	3.8	5.8
14	6.8	3.2	6.6	6.2	1.2	2.8	4.2	5.6	2.2	7.2	3.2	6.4
15	7.4	4	8.2	5.8	1	4	4.6	5	3.6	8.6	3.6	5.6
16	7.8	3.2	5.6	4.6	2.2	5.6	5.4	6.2	5.2	9.2	4.8	4.6
17	6.6	2.8	4.8	4.8	1.8	6.2	3.4	5.4	6	5.6	8.2	4.2
18	7.2	4	5.6	4.2	3.6	4.4	4.2	4.2	5.6	5.2	5.8	5.6
19	6.8	4.6	6.8	5.8	3.8	3.8	5	3.6	2.8	4.6	3.4	4.8
20	8.2	5.2	6.2	7.4	3.4	4.6	4.6	4.2	3.2	5.8	2.6	4
21	7.4	4.8	5.8	4.6	2.6	3.2	3.8	2.6	2.8	4	1.4	2.8
22	7	5.4	5.4	3.4	1	2.8	1.8	1.2	3.2	5.2	4.6	3.6
23	6.6	7.2	6.6	2.6	1.2	5	0.4	0.8	2.6	4.8	3.2	5.4
24	3.8	7	6.8	2.8	0.4	2.8	1.2	1.6	4	4.4	2.8	8.2
25	2.6	6.4	5.6	3.6	0.2	2.2	3.4	1.8	3.4	3.4	1.6	6.8
26	3	7	6.4	4.4	0.8	1.8	0.4	0.6	4.4	3.6	2	6.4
27	3.6	7.6	6	2.6	0.2	1	1.2	0.2	5.6	2.8	2.4	5.8
28	2.8	8.2	4.8	3.2	-1.2	1.6	2.8	0.8	7.2	3.2	3.2	8.2
29	3.2		3.6	4	0.8	3.2	5.8	2.4	4.6	2.8	4.8	7.8
30	3.8		2.8	4.8	1.4	2	2.4	5.2	5.8	2.4	7.6	6.2
31	5		2.2		1.8		3.2	4.6		2		7.6

Temperatura promedio	5.77	5.11	5.85	5.15	1.85	2.71	3.08	3.30	4.43	5.44	4.49	5.74
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2015 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18.2	21.4	16.6	17.8	16.8	15.6	19.8	19.6	21.6	18.4	19.6	21.8
2	18.6	21.8	17	16.6	17.2	21.8	19.2	20.2	18.8	19.2	18.8	20.2
3	19.4	22.6	16.2	18.2	15.8	21.2	16.2	22.4	22.4	20.4	17.6	21.6
4	20	18.6	17.4	16.2	16.4	21.8	20.6	21.4	20.4	21.6	19.4	21.2
5	18.4	17.2	16.6	15	18	20.6	19.4	20.8	20.6	21.2	18.6	20.8
6	17.6	16.6	15.4	18.2	16.8	21.2	16.8	21.4	19.6	19.6	19.2	20
7	21.6	15.6	17.6	17.2	17.2	18.4	18.8	20.8	19	22.6	20.6	21.4
8	18.4	14.4	18	18.6	18.8	17.6	18.2	18.2	20.4	20.8	21.4	19.6
9	20.2	13.2	21.4	17.4	20.8	17.2	18	18.8	19.2	20.2	18.2	20.4
10	21.4	13	22	18.2	17.4	16.2	19.6	17.6	18.6	20.8	19.6	21.2
11	16.4	16.4	21.8	14.8	22.6	17.6	20.6	16.8	19.4	21.6	19.2	20.8
12	18.4	18.8	20.6	15.2	20.2	21.8	17.4	17.4	20.2	20.8	20.6	20.4
13	19.2	21.6	15.8	17.2	19.6	19.4	17.8	17	19.6	19.4	22.4	22.4
14	19.8	16.8	16.4	19.4	16.8	18.2	17.2	20.6	20.6	19	21.6	21.6
15	20.4	15.6	17.8	19.8	15.6	21.6	18.4	20	21.4	22.6	22.4	20.4
16	18.2	15	16.4	18.4	16.6	20.4	17.2	18.6	20	19.4	20.6	21.4
17	18.8	17.4	16.8	17.8	17.4	18.6	20.2	19.6	19.6	21.2	19.8	21.8
18	17.4	18	15.6	18.6	18.8	22.4	19.4	19	21.2	21	18.8	19.8
19	16.8	16.8	13.8	17.6	19	21.8	20.2	20.6	21.6	18.8	21.2	20.6
20	18.2	16.2	14.6	16.6	20.6	20.4	20.8	19.8	21.2	21.4	18.4	19.6
21	16.8	14.6	14.4	18.4	19.8	19.6	20.4	20.4	19.6	22.6	20.2	18.8
22	18.6	16.2	14.8	18.6	18.6	20.2	17.6	18.8	18.8	21.8	19.2	21.2
23	18	16	15.2	17.4	19.8	2.2	19.2	19.4	18.2	21.2	20.4	21.6
24	17.4	15.4	15.8	19.6	17.6	21.6	21.4	18.8	22.8	17.8	18.6	22.6
25	17.6	17.8	14.6	20.4	17	23.2	22.6	19.8	21.4	20.4	19.2	22.2
26	18.6	19.4	15.2	19.8	17.4	22.8	21.6	21.4	20.8	21.2	19.8	18.6
27	17.4	19.8	16.6	23.2	17.8	21.6	20.8	19.8	21.6	20.6	20.4	23
28	15.4	16.2	15.8	23.4	17.6	20.6	21.4	22.8	21.8	21.2	21.8	21.6
29	16.2		16.4	17.8	17.2	19.4	22	21.4	19.2	20.4	22	22.8
30	17.6		17.4	18.2	18.2	20.2	18.8	20.6	18.8	19.2	21.4	23.4
31	18.2		17.2		18.8		20.6	22.6		20.2		22.6
Temperatura promedio	18.36	17.23	16.81	18.19	18.14	19.51	19.43	19.88	20.28	20.54	20.03	21.14

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI))

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2015 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	5.8	8.6	5.2	3.2	4.8	2.2	1.2	3.2		4	6.2	7.4
2	5.2	8.2	4.8	4.2	5.2	4.4	3.6	3.6		4.8	4.6	9.4
3	6.8	9.4	6.4	5.8	2.8	4.8	4.4	4		6.6	1.4	8.2
4	7.8	7.2	5.6	5.4	3.2	4.6	2.8	4.6		6.8	2.6	8.6
5	8.2	6.6	6	5	3.4	5	2.2	1.4	7.8	7.2	3.2	6.8
6	7.8	5.8	6.8	5.2	4.2	2.8	0.6	6.2	4.4	7.8	3.8	6.2
7	7.4	6.4	7.2	6.4	6.6	1.2	-1.6	5.6	2.4	5.4	7.2	6.8
8	8.2	7.2	8.4	5.8	4.6	2	-0.8	5	1.2	5.8	5.6	7.4
9	8.8	7.6	8.8	6.2	5.4	2.4	-1.2	3.4	1	3.6	6.8	8.2
10	8.2	6.4	9.2	6.8	3.2	0.4	-0.4	4.2	0.8	3.2	7	8.6
11	7.8	5.6	8.6	7.4	3	1.4	1.4	3.8	2.6	2.8	7.8	8.8
12	5.2	6.2	8.2	6.6	3.2	1.2	1.8	5.2	4.8	4.2	7.2	9.2
13	4.6	6.8	8.6	7.4	2.8	1.6	-1.2		6.8	2.6	9.6	8.8
14	5.2	8	8.2	5	3	0.8	-0.6		5.4	3.8	9.8	8.2
15	3.6	7.4	6.8	3.6	3.2	2.4	-2.2		6.2	5.8	10.6	7.6
16	2.8	7.2	7.6	5.2	4.4	3.8	0.4		5.8	7.2	6.8	8.2
17	3.2	7.6	8.2	3.6	2.8	3.2	0.6		6.2	8	6.6	8.6
18	2.6	6.2	3.4	5.8	1.6	3.6	-0.4		5.8	8.2	7.2	9.4
19	3.2	4.8	6.6	4.8	2.2	3.2	0.8		7.2	7.6	4.8	9.8
20	3.8	3.6	7.4	5.8	5.4	5	-1.4		6.6	6.6	7.6	8.2
21	5.2	4.2	7.2	6.2	3.6	3.2	1.2		5.8	7.8	8	7.6
22	7.4	6.8	5.8	5.6	1.4	3.6	2.2		6.2	8.2	7.6	8.4
23	7.8	5.6	4.8	6.2	1.2	4.4	3.4		6.8	8.8	8.2	8.8
24	7.2	5.2	6.6	6.4	2.4	5.2	4.2		5.4	8.4	7.8	10.8
25	7.8	7.4	7.2	6.8	1.6	4.6	2.8		7.2	9.2	8.4	10.2
26	5.4	7.8	3.6	6.6	2.8	5.2	6.4		6.4	9.6	7.6	10.8
27	5.8	7.4	2	6	1.4	6.4	5.2		3.8	7.4	8	10.2
28	7	5.8	2.6	6.2	2.4	3.8	2.6		4.4	7.8	7.6	8.8
29	5.6		3	6.8	1.6	1.6	3		2.6	7.2	7.2	9.6
30	5.2		3.6	4.2	1.2	-0.8	3.4		3.4	5.4	5.6	6.8
31	8.8		2.8		1.4		2.8			5.8		7.4
Temperatura promedio	6.11	6.68	6.17	5.67	3.10	3.11	1.52	4.18	4.88	6.37	6.75	8.51

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2016 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1		16.6	23.6	18.2								
2		18.2	20.2	19.4								
3		17.6	19.4	18.6								
4		18.8	18.4	19.4								
5		19.4	17.8	20								
6		20.2	18.4	18.6								
7		19.8	17.8	17.8								
8		21.4	15.6	21.6								
9		20.2	17.2	20.6								
10		19.8	17.6	18.4								
11		19.2	19.4	17.6								
12		19.6	19.8	18.2								
13		19.2	20.2	19.4								
14		21.8	20.4	18.2								
15		24.6	19.4	17.8								
16		22.4	22.8	18.8								
17		20.6	21.2	19.2								
18		19.2	21.8	17.2								
19		19.8	21.4	17.6								
20		20.6	20.2	16.4								
21		19	18.4	17.6								
22		15.6	18.8	18.8								
23		18.6	19.4	21.2								
24		17.8	20.8	19.4								
25		18.2	21.6	18.6								
26		18.6	21.2	19.4								
27		18.2	21.8	20.2								
28		19.8	20.8	19.6								
29		20.2	19.6	20.4								
30			18.2	18.8								
31			20.4									

Temperatura promedio	0.00	19.48	19.79	18.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
----------------------	------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MINIMA HISTORICA (°C) 2016 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
		8.8	8.2	7.8								
		9.2	8.8	7.4								
		7.8	8.6	8.2								
		6.6	8.2	7.2								
		5.8	6.6	8.2								
		6.2	6.2	6.8								
		8.4	8.2	8.2								
		9.2	9	8.8								
		9.8	8.6	8.2								
		10	7.8	7.6								
		9.4	7	7.2								
		9.8	6.4	4								
		7.6	8.2	7.6								
		8.4	7.8	4.2								
		10.2	8.6	5.8								
		9.6	9	8.8								
		8.4	9.4	9.2								
		8.8	8.8	8.8								
		9.6	9.4	8.6								
		9.2	10.2	8.2								
		8.8	9.8	6.6								
		9.8	7.8	7.4								
		8.8	8	7.8								
		8.6	8.6	5.8								
		9.8	7.8	1.2								
		10.2	7.4	2.2								
		9.4	8	2.6								
		6.8	7.4	3.4								
		9.2	7.2	3								
			6.8	3.8								
			8.2									

Temperatura promedio	0.00	8.77	8.13	6.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

Fuente

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2017 - CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.4	16.6	17.2	16.4	18.2	18.2	18.2	17.6	21.4	20.8	18.4	19.2
2	18.2	16.2	16.4	17.2	19.2	16.8	17.8	18.4	22.6	21.2	19.2	18.2
3	17.8	17.4	16.6	17.4	19.2	18.6	17.2	21.2	21.4	21.8	19.8	18.2
4	17.4	17.6	17	16.6	17	20.8	17.6	20.2	19.8	20.4	19.8	18.6
5	17.2	17	15.4	17.6	19.4	19.4	18.6	20.8	22.2	19.8	20.2	19
6	16.4	17.2	16.2	16.8	17.8	20.2	16.6	18.8	21	19	19.2	19.4
7	16.2	16.8	17.2	17.8	16.2	20.4	19.4	20.8	17.2	20.8	17.6	19.6
8	16.6	17.6	15.2	18.2	19.6	16.4	20.2	21.4	18.4	19.2	17.2	17.8
9	17.6	17.8	15.6	15.8	20.2	17.2	17.2	18.2	19.4	18.6	17.4	19.4
10	17.2	16.8	15.8	16.2	16.8	16.2	19.8	18.2	18.8	18.8	18	18.8
11	17.4	16.2	15.4	17.6	16.6	15.4	21.2	19.2	17	19.4	2.6	17
12	15.4	16.8	14.2	17.8	15.6	18.4	20.4	18	16.8	18.2	16	18.2
13	16.8	16.6	15.6	17	18.6	17.4	19.8	17.6	17.8	17.4	18.2	18
14	15.4	15.4	16	15.2	19.4	17	18.8	18.8	19.2	16.8	19.4	18
15	14.8	16.2	15.4	15.6	17.8	15.8	20.4	19.8	16.2	19.4	19.8	17.2
16	16.4	15.2	15.6	16.6	17.2	14.8	18.8	18.2	18.2	21.4	20.2	18.2
17	15.2	15.6	16.2	18.2	17.8	15.2	19.8	19.4	18.8	19.8	20.2	17.2
18	16.8	15.4	15	18.4	18	18.2	20.8	16.8	17.2	22.8	18.6	18.2
19	15.4	15.6	15.8	18.6	18.4	17.6	18.8	19	18.6	21.6	18.8	18.4
20	15	16.6	15.2	16.2	17.8	18.2	18.2	17.8	22.2	19.8	17.2	17.4
21	15.2	17.2	16.2	17.4	15.2	16.8	18	18.2	20.2	18.8	18.2	16.8
22	14.4	16.2	16.4	17.2	15.4	16.2	18.6	19.4	21.6	18.2	19.8	17
23	13.8	16.6	15.2	16.8	16.2	17	18.2	19.8	20.4	17.8	19.2	18.2
24	15.2	16.8	16.8	18.6	18.4	17.2	20.2	19.4	21.4	18.6	19.2	18.4
25	15.6	14.8	16.2	17.8	20.8	18	21.4	17.6	19.2	17.4	19.6	18.6
26	15	15.4	16.6	15.2	20.4	16.6	22.4	19.2	18.8	18.2	17	16.6
27	15.6	14.2	15.6	16.4	18.2	17.2	19.8	20.2	18.2	19.4	18.4	16
28	16.8	15.2	15	16	18.8	17	19.4	18.2	17.2	19	17	16.2
29	17.8	20.2	15.4	15.2	17.4	15.2	18.6	16.8	19.2	18.2	17.8	15.6
30	17		14.8	15.4	16.6	16.4	19.2	17.4	20.4	17.6	18.4	17.8
31	17.2		14.6		20.6		19	19.4		17.2		18.2
			16.4									
Temperatura promedio	16.23	16.46	15.80	16.91	18.03	17.33	19.17	18.90	19.36	19.27	18.08	17.92

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2017 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	6.4	8.8	5.8	5.6	4.6	2	1.6	0.6	5.8	0.8	1.8	3.2
2	8	9.2	7.4	6.8	4	2.4	2.8	4.2	6.2	1.4	3.2	3
3	8.8	7.8	5.2	5.4	3.8	4.6	0.8	2.4	4.2	0.4	2.8	2.2
4	8.2	6.6	5.4	6.2	6	4	0.6	3	2.4	0.2	2.6	1.6
5	6.8	5.8	4.8	3.2	4.2	3.6	0.8	2.4	4.8	2	4.8	2.2
6	6.4	6.2	6.2	3.6	3.8	2.4	1.6	2	5.2	2.8	1.8	5.8
7	7.2	8.4	6.6	5	3	2.2	0.2	1.4	3.8	3.2	1.6	4
8	7.6	9.2	6.2	2.6	3.2	1.8	0.8	1.2	2.6	3	1.2	4.8
9	7.8	9.8	7.6	3.6	3	0.8	2.8	2	2.2	4.2	1.8	5
10	6.4	10	8.2	3	4	2.4	2.4	1.6	1.2	4.4	2.8	3.4
11	6.2	9.4	6.8	4.8	2	1	2.2	0.2	1.2	4.8	2.6	3.2
12	6.4	9.8	7.6	5.4	2.6	2.2	3.8	3.8	2.6	5.6	5.4	2
13	7.8	7.6	7.4	5.9	0.4	3.8	3.2	2	2	4.8	2.8	5.4
14	7.4	8.4	6.2	5.2	4.2	3.2	2	0.2	4.6	4.6	5.8	5.2
15	7.2	10.2	5.8	4.8	2.6	0.2	1	1	5.8	6	6	5
16	6.4	9.6	5.4	6.2	3	0.8	0.2	0.8	5.6	6.8	3.2	2.2
17	6.2	8.4	6.4	5.8	3.2	0.2	0.4	1.8	4	4.8	3.8	4.4
18	6.6	8.8	6.2	5	1	0.4	2	0.6	6.4	6.2	2	4
19	6	9.6	6.8	3.6	1.5	1	0.6	-1.4	5	5.2	1.4	3.6
20	6.2	9.2	7.2	4.2	1.8	1.2	0.8	-1.2	6	4.2	1.4	3.4
21	6.4	8.8	5.6	4	1.2	0.4	1.4	0.2	5.4	2.6	2	6.2
22	5.4	9.8	4.8	6.2	5	1	0.8	0.4	3.6	3.4	2.6	6
23	6.4	8.8	6.4	5.8	5.2	0.8	0.6	1	4	4.2	4.4	4.6
24	6.2	8.6	6.6	4.2	4.2	0.6	1	0.2	4.6	3.8	3.6	3.6
25	7.4	9.8	6.2	1.8	3.4	1.6	1.2	-0.4	3.2	4	4.2	4
26	7.2	10.2	5.8	1.4	1.8	1	2.6	0.2	2.2	2.6	2.8	4.6
27	7	9.4	6.4	3.4	2	-0.4	3.2	0.4	2.8	3.8	3.6	4.2
28	7.8	6.8	5.6	4.2	4.4	1	3.6	0.8	2.2	2.8	4.4	3.6
29	7.6	9.2	7.2	5.2	5.4	1.4	4	0.6	1	5	1	3.2
30	7.8		6.8	5.8	4.2	1.2	4.2	2.6	1.8	2.8	3.8	3.2
31			8.2		3.6		0.8	2.8		1.2		3.2
Temperatura promedio	6.97	8.77	6.41	4.60	3.30	1.63	1.74	1.21	3.75	3.60	3.04	3.87

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2018 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18.4	17.8	16.2	17.4								
2	16.8	16.2	16.6	17.8								
3	18.2	16	17	17.2								
4	18.6	15.6	16.2	16.6								
5	18.2	16.2	16.4	17.8								
6	15.6	16.8	16.8	16.8								
7	16	16.2	17	16.2								
8	16.2	17.4	15.8	17								
9	16.2	17.8	18.2	15.8								
10	16.8	18	17.4	16.2								
11	17	17.8	16.6	17.4								
12	16.2	16.6	17	17								
13	15	17	16.4	17.2								
14	17.2	17.8	17.2	16.6								
15	17.4	15.6	16.8	17.2								
16	17.6	15.8	17	18.2								
17	16.6	16.8	17.2	18.6								
18	17.2	17	16.8	17.8								
19	17.8	17.6	15.8	18.4								
20	16.2	17.8	16.4	18.8								
21	16.6	16.2	17	19.2								
22	16.2	17	17	17.2								
23	16.4	17.6	16	18.4								
24	15.8	17.2	16.8	17.2								
25	16.4	16.6	15.6	16.8								
26	17	16.6	16.8	16.2								
27	17.4	15.6	16.2	17.6								
28	17.6	15.2	17	16.6								
29	17		17.4	17.2								
30	17.6		17.2	17.6								
31	17.4		17.8									
Temperatura	16.91	16.78	16.73	17.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLOGICO
TEMPERATURA MAXIMA HISTORICA (°C) 2018 - ESTACION CECCHAPAMPA

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	3.2	4.8	5	4.4								
2	3.6	3.6	4.4	4								
3	2.6	3.2	4.6	2.8								
4	3.8	3.4	5.8	3.2								
5	3	3.6	4.8	3								
6	2.4	4.8	4.2	3.4								
7	3.2	3.6	6.4	4.4								
8	3.2	5	6.6	4.6								
9	2.6	4.8	4.4	4.8								
10	2.2	4.2	6.2	4								
11	3	3.8	4.6	4.6								
12	3.4	3.4	6	3								
13	2.2	3.6	5	2.6								
14	3.2	3.2	3.6	4.8								
15	2	2.8	3.4	5.2								
16	2.6	3.2	5.6	4.2								
17	3.8	4	4.8	2.8								
18	4.2	5	4	2.6								
19	3.8	4.8	6	3.2								
20	3.4	4.2	5.2	3.6								
21	3.2	3.8	5.6	4.2								
22	3	3.2	4.8	4.2								
23	4	2.8	5	4.4								
24	4.8	3.4	5.6	4.8								
25	5	4	5	5.4								
26	5.6	5	4.2	5.8								
27	5.8	4.2	3.8	3.4								
28	5.6	3.8	3.4	4.2								
29	4		3	5.8								
30	3.6		4.2	5.2								
31	4.2		3.6									
Temperatura	3.53	3.90	4.84	4.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLÓGICO

PRECIPITACIÓN TOTAL COMPLETA Y EXTENDIDA

(mm)

ESTACION		Puquio		LATITUD			14° 42' 01 "			DISTRITO			Puquio	
CUENCA		Acari		LONGITUD			74° 08' 01"			PROVINCIA			Lucanas	
TIPO		CO		ALTITUD			3215 msnm.			DEPARTAMENTO			Ayacucho	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
1964	50.9	53.3	44.6	21.8	14	0	0	0	0	3.3	20.5	48.5	256.9	
1965	48.8	129.2	53.2	8.5	21.3	0	0	0	6.6	0.6	1	12.4	281.6	
1966	42.9	53.9	47.7	5.5	0	0	0	0	0	26.6	23.2	29.5	229.3	
1967	204.4	202	147.1	59.4	35	0	5.7	0	7.6	0	0	27.4	688.6	
1968	115.6	57.1	120.6	1.8	0	0	0	0	0	34.5	53.7	50.9	434.2	
1969	28.6	81.6	146.5	39.3	0	0	0	0	5.2	0	12.8	56.4	370.4	
1970	189.8	69.4	67.6	7.2	10.8	0	0	0	18.6	3.8	1.8	24.6	393.6	
1971	62	95.4	152.8	36.4	4.8	0	0	0	0	2.2	1.6	44.2	399.4	
1972	156.4	191.6	197	7.6	0	3.8	3.8	0	21.8	24.6	0	80.8	687.4	
1973	124.4	104.4	138.8	58.2	0	5.8	0	1.6	35	0	4.6	22.8	495.6	
1974	105	64.8	31.6	17.4	0	1.4	0	19.4	5.4	0	4.2	42.9	292.1	
1975	45.8	61.1	77.9	2.8	7.8	0	0	0	2.4	3.6	0	36.9	238.3	
1976	160.4	152.8	70.6	4	6.1	0	0	0	11.1	0	0	22.5	427.5	
1977	66.4	175.9	70.4	0	0	0	0	0	19.9	0	3.4	15.4	351.4	
1978	69.7	28	63.1	14.1	0	0	0	0	0	0	27.8	4.9	207.6	
1979	19.9	70.7	124.3	0	0	0	0	0	0	13.4	0	39.1	267.4	
1980	45.8	8.1	82.4	0	0	0	7.1	0	20.5	18	0	33.4	215.3	
1981	84.2	113.2	78.1	32.5	0	0	0	17.5	0	0	15.6	76.1	417.2	
1982	78.9	122	32.2	18.5	0	0	0	0	0	0	24.1	64.2	339.9	
1983	34.2	30.5	70.6	29.8	6.8	0	0	0	7.9	2.9	4.7	65.1	252.5	
1984	89.9	165.1	174.5	32.4	3.5	7.9	0	33.6	0	8.7	59.1	29.7	604.4	
1985	21.6	134.7	194.9	52.6	71.7	0	0	0	0	0.4	0	85.3	561.2	
1986	133.1	158.8	145.4	22.8	0	0	0	15.7	0	0	2.8	92.8	571.4	
1987	119.4	82.1	22.4	11.4	6.1	3	2.5	4	0.5	3.3	7.4	4.7	266.8	
1988	143.2	83.1	51.1	29.8	24.4	0	3.8	0	0	0.4	1.7	74.5	412	
1989	38.1	253.6	252.8	7.2	4.4	0	0	0	0	9.6	0	20.9	586.6	
1990	33.8	15.4	60.3	3.8	17.2	10.6	0	0	1.2	2.4	121.6	89.7	356	
1991	72.9	29.8	107.4	21.4	0	0	0	0	0	11.6	4.4	16.9	264.4	
1992	7.9	7.8	39.8	8	0.5	0.2	0	0.3	1.1	11.9	2.5	80.9	160.9	
1993	164.3	82.1	161.4	23.3	20.9	0	0	10.4	0	28.2	14.2	49.8	554.6	
1994	144.4	175.6	82	0	3.6	4	0	0	0	2.4	0	19.3	431.3	
1995	112.7	15.1	134.3	0	0	0	0	0	17	0	51.3	30.3	360.7	
1996	83.1	150.8	31.9	24.2	0	0	0	4.8	1.6	0	3.3	25.5	325.2	
1997	73.2	54	62.3	0	0	0	0	41.2	14.3	6.4	5	53.6	310	

1998	191.8	115.3	86.8	1.3	0	10.3	0	0	0	0	33.4	79.8	518.7
1999	64.4	221	89	17.5	1.5	0	0	0	0	16.8	0.6	29.2	440
2000	187.2	129.2	140.9	16.5	7.2	0	0	4	0	12.6	4.6	77.8	580
2001	107	145.6	136.1	43.7	0	0	0	0	0.6	5.7	5.3	5.1	449.1
2002	98.3	142.2	132.5	33.4	3.8	0	13.8	2.8	5.2	7.6	37.5	22.9	500
2003	46	71.5	80.8	12.5	12.4	0	0	0	0	1.2	0	45.8	270.2
2004	57	89.4	94.9	28.7	0	0.1	0	0.3	1.1	96.4	1.5	49.1	418.5
2005	35.8	22.5	72.9	10.3	100.3	0	0	0	1.6	0.4	2.3	32	278.1
2006	44.5	98.8	122.5	13.3	0	1.3	1	4.2	0	0	18.5	13.3	317.4
2007	59.1	85.5	160	25.7	4.6	0	0	0	5.2	11.2	18.1	20.4	389.8
2008	178.1	115.2	90	3.2	0	0	0	0	0	6.2	0	19.6	412.3
2009	101	166.4	87.1	46.7	0	0	9.5	0	0	7.9	13.3	4.9	436.8
2010	68	73	90.4	19.2	3.6	0	0	0	2.6	7.9	0	68.9	333.6

SUMA	4209.9	4748.6	4721.5	873.7	392.3	48.4	47.2	159.8	214	392.7	607.4	1940.7	18356.2
MEDIA	89.6	101	100.5	18.6	8.3	1	1	3.4	4.6	8.4	12.9	41.3	390.6
MAX	204.4	253.6	252.8	59.4	100.3	10.6	13.8	41.2	35	96.4	121.6	92.8	688.6

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLÓGICO

PRECIPITACIÓN TOTAL COMPLETA Y EXTENDIDA

(mm)

ESTACION	Ceccaña			LATITUD	14° 36' 1 "			DISTRITO	Puquio				
CUENCA	Yauca			LONGITUD	74° 0' 1 "			PROVINCIA	Lucanas				
TIPO	CM			ALTITUD	4100 msnm.			DEPARTAMENTO	Ayacucho				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	49.2	256	115.6	36.9	188.3	1.2	0	1.3	0.7	14	63.3	126	852.5
1965	38.4	200.2	77.8	7.1	3.4	0	10.9	13	24.7	48.6	7.5	86.2	517.8
1966	249.9	110.3	91.4	12.2	55.8	0	0	0	43.3	50.9	86	11.1	710.9
1967	118	201.1	243.9	68.3	0	0	0.3	0	35	0	13.5	96.7	776.8
1968	49.4	21.7	19.2	9.8	2.7	0	0	2.1	3.5	0.3	55.7	87.9	252.3
1969	77.2	166.3	260.9	33.3	0	0	0	0	10.1	6	54.9	116.1	724.8
1970	275.2	148.6	106.5	36.9	31.5	7.2	0.3	0.4	34.9	13.4	26.7	39.8	721.4
1971	111.2	200.3	211.4	94.1	0	2.1	0	1.7	0	8	7.5	108.1	744.4
1972	242	232.8	252.7	29.1	0	7.6	0	1.7	32.6	47.9	18	101.5	965.9
1973	225.4	166.9	159	75.9	0	1.4	0	31.1	85.5	17.6	28.3	88	879.1
1974	363	264.1	130.8	191.1	0	1	9.1	78.5	34	14.2	77.4	76.8	1240
1975	291.6	361.8	289.3	47.4	107.4	26.2	0	0	19.5	45.1	6.1	173.5	1367.9
1976	133.3	227.4	170.3	137.7	11.4	0	77.8	35.2	123.5	4.6	0	123.5	1044.7
1977	47	109.7	165.8	7.1	11	0	4.9	0	38.6	11.7	58.2	34.1	488.1
1978	151.5	56.1	93.2	47.2	0	2.3	0	2.3	18.3	25.3	60.5	30.7	487.4

1979	76.2	147.2	196	5.1	1.5	2.5	2.5	5.5	0	65	0.5	8.9	510.9
1980	151.2	54.2	123.1	6.8	0	0	42.9	44.2	56.8	26	7.9	60	573.1
1981	318.3	313.5	190.7	11.2	0	0	75.7	353.7	12.7	5.5	79.2	56.8	1417.3
1982	90.2	157	138.7	32.4	0	0.4	0.3	0.9	49	59	166.9	8.8	703.6
1983	48.8	24.9	97.5	5.7	0	0.1	10.7	0.6	37.1	1.3	21.9	36.5	285.1
1984	114.2	189	203.1	9.7	0.1	7.1	0	2.2	69.1	28.8	96.6	37.7	757.6
1985	54.6	175.1	129.1	41.8	3.7	0.2	19.2	0.1	4.3	0	19.1	152	599.2
1986	169	315.1	290.2	35.1	0	1.2	0	3.4	1.6	31.5	15	103	965.1
1987	343.7	54.9	235.6	10.8	0.7	3.8	1	0.3	6.9	29.7	36.8	10	734.2
1988	116.3	127.4	20.6	15.7	47.2	0	10.1	1	0.5	2.4	1	79.8	422
1989	107	194.5	216.2	16	7	6	0.7	0.2	0.8	2.7	3.4	59.9	614.4
1990	17.5	4.2	145.6	4.7	14.8	22.1	0.1	0.1	3.1	3.5	15.4	145.2	376.3
1991	66.4	17.2	50.1	18	0.3	0.1	0	0	0.5	3.1	4.5	112.4	272.6
1992	23.1	29	108.6	5.7	0.1	0.1	0	20.8	5.2	32.6	48	54.3	327.5
1993	126.2	68.8	150	13.5	0.5	16.6	0	9.1	8.9	0.7	51	76.8	522.1
1994	192.4	333.2	227	52.4	3	6.1	0	0.5	0	0.2	0.6	44.5	859.9
1995	113	47.1	55.9	12.6	0	0	10.9	0.8	29.3	37.7	90.1	29	426.4
1996	151.2	247.5	119.9	47.3	1.1	0.3	0.8	124.2	51.2	79.1	39.4	59.1	921.1
1997	109.2	75.5	64.3	14.9	67.3	0.1	0.2	265	71.3	62.3	47.5	114.3	891.9
1998	220.2	289.3	260.7	11	0.1	4.1	0.6	1.4	2.5	44.7	83.2	145.6	1063.4
1999	161.6	351.3	258.1	61.1	0.3	0.1	0	0.2	15.8	26.1	29.6	81.1	985.3
2000	465	342.2	265.7	45.4	13.5	0.2	0.8	14.9	8.9	68.6	64.5	75.2	1364.9
2001	237.6	217.5	209.8	65.3	0.1	0.1	7.1	14.6	55.1	2.4	37.1	18.9	865.6
2002	164.4	171.4	257.1	193	0.1	0.4	17.5	33.3	15.6	26.4	63.2	44.6	987
2003	184	201.1	187.2	18.9	39.9	0.1	6.6	2.1	6.1	4.3	4.5	59.8	714.6
2004	66	221	210.3	39.9	3.7	0.8	0.1	3.1	18.4	2.8	38.5	88.3	692.9
2005	235.5	91.8	193.7	19.1	0.1	1.4	0	7.8	12.8	5.6	0.8	135.8	704.4
2006	35.8	92.1	248.6	34.3	0.7	5	0	4.5	0	17.9	67.6	28.9	535.4
2007	231.3	145.4	265.2	31.2	20	0	46.1	5.4	32.8	34.7	111.7	134.7	1058.5
2008	190.9	248.5	272.9	40.3	0.2	1.4	0.4	1.4	0.4	2.7	3.5	31.8	794.4
2009	178.8	205.6	178.2	54.4	0	0	171.3	13.3	5.4	10.4	86.5	52.8	956.7
2010	220.6	180.2	57.2	93.5	14.9	1.3	0.3	0.5	48.4	53.1	29.8	14.7	714.5

SUMA	7402.5	8056	8014.7	1900.9	652.4	130.6	529.2	1102.4	1134.7	1078.4	1928.9	3461.2	35391.9
MEDIA	157.5	171.4	170.5	40.4	13.9	2.8	11.3	23.5	24.1	22.9	41	73.6	753
MAX	465	361.8	290.2	193	188.3	26.2	171.3	353.7	123.5	79.1	166.9	173.5	1417.3

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLÓGICO

PRECIPITACIÓN TOTAL COMPLETA Y EXTENDIDA

(mm)

ESTACION	Ceccapampa			LATITUD	14° 36' 1 "			DISTRITO	Puquio				
CUENCA	Acari			LONGITUD	74° 0' 1 "			PROVINCIA	Lucanas				
TIPO	CM			ALTITUD	4100 msnm.			DEPARTAMENTO	Ayacucho				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	100.1	240.2	100.4	82.6	107.2	0	0	4.7	0	2.4	64.1	18.6	720.3
1965	237.2	227	136.9	43.6	10.5	0	0	22.9	0.6	20.3	5.6	41.8	746.4
1966	128.3	20.4	107.1	44.9	0	0	0	0.8	0.1	47.9	0.2	18	367.7
1967	271.8	177.9	313.8	163.8	7.6	0	8	1.7	3.2	0	86.2	30.6	1064.6
1968	359.7	50.8	134.1	42.1	0.5	0	0	4.7	0	1.4	0.4	62.6	656.3
1969	108.7	163.6	190.1	61.2	0.5	0	0	5.2	0.3	0	5.8	62.3	597.7
1970	259.4	127.4	144.4	29.9	5.9	0	0	4.2	19.2	15.3	2	21.4	629.1
1971	118.8	69.3	209.5	76.7	3.4	0	0	2.5	0	0	0.3	118.4	598.9
1972	143	282.7	368.1	25.8	0.1	0	9.7	2.5	34	14.2	14.5	104.5	999.1
1973	300.8	229.2	239.1	94.3	4.2	15.3	0	17.8	30.6	0	57.9	59.9	1049.1
1974	247.2	221.8	140.4	47.3	0	0	0	23.2	0	0	0	11.7	691.6
1975	193.9	139.7	279.9	42	16.7	0	0	0	0.8	17.6	4.2	52	746.8
1976	82.5	228.9	195.3	12.7	22	0	0	4.7	47.4	0	50.5	79.8	723.8
1977	32.6	299.4	292.6	4.1	0	0	0	0	40.7	0.2	24	3.5	697.1
1978	69.2	32.1	98.3	51.1	7.1	0	0	0	0	22	24.5	31.2	335.5
1979	50.9	117.1	245.6	4.8	0	0	0	0	0	12.2	11.4	45.4	487.4
1980	69.5	79.8	138.3	3	0	0	15.6	0	12.4	53.6	0	20	392.2
1981	59.3	280.3	54.4	96.2	0	0	0	26.4	0	0	23.6	77.1	617.3
1982	104.9	192.2	155.5	96.7	0	0	0	3.9	0	46.5	35	18.7	653.4
1983	104.5	43.1	91.8	64.6	0.7	2.9	0	4	2	0.4	12	49.8	375.8
1984	132.5	316.2	196.8	0.5	5.1	17.1	0	5	1.6	47.6	1.4	17.7	741.5
1985	102.8	212.1	251	80.1	27.7	0	0	0	1.2	0	30.6	117.2	822.7
1986	262.9	210.6	264.6	56.4	0.5	0	0	14.1	0	0.2	35.3	31.6	876.2
1987	164.4	37.8	123.3	70.7	0.3	0	5.8	12.5	0	11.4	2	53.5	481.7
1988	85	196.1	76	73.7	6.1	0	0.2	0	0.6	0	1.2	36.9	475.8
1989	334.6	302.8	242.3	27.8	4.6	0.1	0	0.5	0	0	19.5	49.5	981.7
1990	63.5	15.3	130.6	15.2	0.3	0.2	0	0	0.5	0	49.5	61.8	336.9
1991	108	111.9	142.9	47.4	2.2	0	0	0	0	0	172.4	68.2	653
1992	65.7	90.7	88	5.5	1.5	0	0	17.1	0.1	10.4	5.3	50.7	335
1993	335.2	77	113.1	93.6	179.8	0	0	14.1	0	0.1	5.2	55.6	873.7
1994	228.4	389.5	190	4.2	0.3	0	0	0	0	0	21.6	25.3	859.3
1995	265.8	49.1	112.2	14	0.3	0.1	0	0	7	3.4	4.3	13.5	469.7

1996	105.1	341	169.7	85.3	9.2	0	0	12.9	22.4	5.7	13.4	117.1	881.8
1997	86.5	159.6	121.9	1.4	1.9	0	0	79.1	18.4	2.1	58	17.4	546.3
1998	324.6	226.3	152.6	5.9	0	1.7	0	3.7	0.3	1.8	2.5	28.3	747.7
1999	177.6	354	249	43.8	0.4	0	0	1.1	1	20.4	12.3	16.1	875.7
2000	288.1	154.4	109.6	46.8	20.7	0	0	7.7	1.1	60.7	0.5	80.7	770.3
2001	159	149.7	265.6	75.5	0.4	0	0	5.4	4.2	0	16.5	6.3	682.6
2002	142.2	282.1	204.9	63.3	0.7	0	10.8	3.5	0.9	0.6	47.8	17.8	774.6
2003	100.8	124.6	128.8	37.1	35.9	0	0	2.7	0	0	181.5	159.4	770.8
2004	117.2	140.5	148.8	89.8	0	0	0	13.3	0	0	5.1	13.1	527.8
2005	171.2	101.4	176.7	6.2	1.9	0	0	12.1	0.1	0	0.5	73.1	543.2
2006	109.3	176.2	141.4	43.9	0.8	0	2.4	1.2	0	1.4	0.4	49.4	526.4
2007	71.8	146.5	178	71.5	1.5	0	0	1.8	1.8	0.3	2.6	25.4	501.2
2008	152	148.6	160.1	24.8	0	0	0	6.4	0	0	75.6	22.5	590
2009	109	218.3	163.5	80.2	4.5	0	9.3	12.3	0	3.6	0.9	28.4	630
2010	50.1	259.9	61.1	41.5	56.2	0	0	0	5.6	28.4	0.1	114.4	617.3

SUMA	1732	2299.9	2561.4	580.5	55.9	15.3	25.3	69.9	185.1	181.4	197.4	643.6	3497
MEDIA	133.2	176.9	197	48.4	5.1	1.2	2.3	10	16.8	18.1	16.5	49.5	699.4
MAX	300.8	299.4	368.1	96.7	22	15.3	15.6	26.4	47.4	53.6	57.9	118.4	1049.1

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

REGISTRO METEOROLÓGICO

PRECIPITACIÓN TOTAL COMPLETA Y EXTENDIDA

(mm)

ESTACION		San Pedro		LATITUD		14° 36' 1 "		DISTRITO		Puquio			
CUENCA		Acari		LONGITUD		74° 0' 1 "		PROVINCIA		Lucanas			
TIPO		CM		ALTITUD		4100 msnm.		DEPARTAMENTO		Ayacucho			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1964	47.3	51	38.4	17.1	18.5	0	0	0	0	0	26.1	24	222.4
1965	33.2	29.9	59.4	8.5	0	0	0	0	15	0	41.7	24.6	212.3
1966	49	89.4	73.3	4.5	26.5	0	0	0	0	33.9	71.1	7.6	355.3
1967	325	312.7	155.5	115.8	1.4	0	0	0	7.3	0	12.9	27	957.6
1968	146.8	187.5	161.6	47.7	15.3	0	0	0	14.9	5.5	25.1	59.1	663.5
1969	30.8	35.7	269	2.2	24.5	7.1	0	0	29.8	6.9	25.8	61.3	493.1
1970	155.8	152	87	51.7	91.8	0	0	0	32.1	0	19.9	36.3	626.6
1971	76.3	140.7	173.6	19.1	67.4	0.7	0	0	0	0	5.2	26.2	509.2
1972	130.7	213.2	142.9	7.4	0	0	5	7.5	24	26.3	4.8	90.2	652
1973	136.6	111.3	114.3	25.6	0	0	0	0	0	0	4.2	20	412
1974	105.1	112.1	65.1	41	25.9	9.8	0	49.5	4	0	22.4	15.8	450.7
1975	147.7	124.2	166.4	31.7	16.4	16.6	5.2	0	11.1	4.6	0	37.5	561.4
1976	225.1	146.5	117.3	5.6	11.3	0	0	0	51.7	0	0	9	566.5

1977	172.2	101.8	60.4	0	0	0	0	0	10.7	0	103.1	23	471.2
1978	46.5	27.9	114.8	34.9	38.1	0	0	22.6	2.2	15.4	26	10.6	339
1979	35.3	50.2	184.5	15.6	0	0	0	0	0	30.8	5	10.2	331.6
1980	108.6	95.6	58	7.2	0	4	0.1	3.2	5.8	28.6	0	27.4	338.5
1981	43.2	186.2	78.4	69.2	0	0	0	34	2	6	11	107.6	537.6
1982	156	189.9	66.3	69	26.2	37	31.8	28.6	12	94.9	56.6	52.1	820.4
1983	52.8	60	81.6	58.3	24.4	0	0	7	16.6	31.3	63.2	34.2	429.4
1984	48.6	134.4	52.4	72.6	25.6	0	0	1.7	1.3	34.4	57.9	112.2	541.1
1985	164	206.6	173.6	163.6	37.2	49	4.2	39.6	8	0	0	70.4	916.2
1986	71.9	187.6	119.4	5.5	0.1	0.2	0	25.2	0	0	3.8	59.6	473.3
1987	107.8	170.9	156.3	107.6	8.3	1.7	0	0.3	4.6	2.4	13	15.3	588.2
1988	62.3	50	64.4	21.4	35.8	0	34.2	24	0	53.2	26	43.8	415.1
1989	44.6	46.2	60.6	22.2	47.8	20.6	0.1	17.2	20.6	0	45.8	33.2	358.9
1990	38.7	93.6	99.2	29.2	9.3	24.8	0	6.2	28.6	0	82.5	79.8	491.9
1991	95.1	95.9	36.9	90.4	14.2	25.4	12.2	50.3	30	25.4	14	16	505.8
1992	69.6	83.8	132.9	102.5	13.2	5.6	8	3.6	6.3	6	13.3	50	494.8
1993	31.2	0	33.6	3.6	12	0	1	15	32.8	21.6	48.2	64.2	263.2
1994	70.2	117	119.8	0	58.4	69.2	3.1	0	0.1	2.4	4	64.6	508.8
1995	24.5	4	95	19.3	207.2	1	0	0	20.4	10.2	28.4	27.2	437.2
1996	139.4	162.6	62.3	62.3	39.4	31.1	0	0	0	19	24.1	64.4	604.6
1997	74.1	58.8	63.9	51.3	27.5	10.3	8.6	45.9	41.1	17.5	32.4	55.6	487
1998	108.8	186.2	92.8	20.9	3.9	22.1	0	13.3	11.3	11.7	52.1	50.4	573.5
1999	112.6	166.7	74.2	55.5	20.6	0	0	0	0.4	269.8	22.5	53.9	776.2
2000	110.1	144	136.5	26.5	2.4	0	0.2	1	0.2	143.4	5.1	50.6	620
2001	121.7	78.9	128.9	12.5	0	0.5	0.1	0	0.6	5.5	69.3	40.5	458.5
2002	86.3	185	126.2	84.3	0	0.1	20.3	0	2.2	2.7	25.4	49.3	581.8
2003	104.1	116.5	77.4	43.2	13.9	0.1	0.2	0	1.3	30.6	1.6	23.5	412.4
2004	55.2	21.6	81.5	113.7	6.4	0.9	6.3	1.7	57.2	2.1	10.3	58.5	415.4
2005	25.2	3.7	27.9	119	67.3	2.2	1.3	10.1	33.1	32.2	39.1	36.7	397.8
2006	33	62.6	64.3	84.7	4.4	1.4	0	0	0.7	2.2	95.9	39.1	388.3
2007	40.6	34.9	51.6	112.7	39.8	2.9	0	0.2	0.4	5.9	49.5	33.2	371.7
2008	81.7	146.4	109.6	21.9	1	0	0	0.4	2.9	1	0.3	9.4	374.6
2009	52.1	173.6	33.6	86.5	0	0	0	0.2	0	7.5	78.5	44.7	476.7
2010	96.6	81.9	256.3	64.4	9.3	18.8	0	0.6	0.5	26.4	7.3	61.6	623.7

SUMA	4294	5231.2	4798.9	2229.4	1092.7	363.1	141.9	408.9	543.8	1017.3	1374.4	2011.4	23507
MEDIA	91.4	111.3	102.1	47.4	23.2	7.7	3	8.7	11.6	21.6	29.2	42.8	500.1
MAX	325	312.7	269	163.6	207.2	69.2	34.2	50.3	57.2	269.8	103.1	112.2	957.6

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

Anexo 3: Análisis Precios Unitarios y Metrados

En el anexo 3, se presentan el Análisis de Precios Unitarios y Metrados del proyecto Bocatoma San Pedro.

Partida	Limpieza y Desbroce	Unidad	m2/día
Rendimiento	500.00	P.U S/.	4.33

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Peón	Hh	2.00	0.03	11.33	0.36
					0.36
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	0.36	0.02
Tractor de Orugas	Hm	1.00	0.02	246.66	3.95
					3.97

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Trazo y Replanteo	Unidad	m2/día
Rendimiento	600.00	P.U S/.	2.51

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Topógrafo	hh	1.00	0.01	17.15	0.23
Peón	hh	3.00	0.04	11.33	0.45
Nivelador	hh	1.00	0.01	12.54	0.17
					0.85
Materiales					
Wincha	und		0.00	30.00	0.09
Estacas de madera	p2		0.02	4.00	0.08
Pintura	gl		0.01	45.00	0.45
					0.62
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	0.85	0.04
Jalón	hm	2.00	0.03	7.00	0.21
Teodolito	hm	1.00	0.01	22.00	0.22
Mira	hm	2.00	0.03	16.00	0.48
Nivel	hm	1.00	0.01	7.00	0.07
					1.04

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Excavación en material Común	Unidad	m3/día
Rendimiento	h<=2m 360.00	P.U S/.	6.40

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.00	17.15	0.04
Peón	hh	2.00	0.04	11.33	0.50
					0.54
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	0.54	0.03
Cargador sobre llantas	hm	0.20	0.00	171.83	0.76
Retroexcavadora	hm	1.00	0.02	228.50	5.07
					5.86

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Excavación en roca	Unidad	m3/día
Rendimiento	240.00	P.U S/.	9.62

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.00	17.15	0.06
Peón	hh	2.00	0.07	11.33	0.76
					0.82
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	0.82	0.04
Cargador sobre llantas	hm	0.20	0.01	171.83	1.15
Retroexcavadora	hm	1.00	0.03	228.50	7.61
					8.80

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Excavación para estructuras	Unidad	m3/día
Rendimiento	300.00	P.U S/.	7.69

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.00	17.15	0.05
Peón	hh	2.00	0.05	11.33	0.60
					0.65
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	0.65	0.03

Cargador sobre llantas	hm	0.20	0.01	171.83	0.91
Retroexcavadora	hm	1.00	0.03	228.50	6.10
					7.04

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Relleno y compactado con material de sitio	Unidad	m3/día
Rendimiento	700.00	P.U S/.	10.13

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Subpartidas					
Colocación	m3		1.00	3.39	3.39
Compactación	m3		1.00	2.49	2.49
Carguío	m3		1.00	2.12	2.12
Explotación en cantera	m3		1.00	2.13	2.13
					10.13

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Eliminación de material excedente	Unidad	m3/día
Rendimiento	920.00	P.U S/.	1.99

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Peón	hh	0.20	0.00	11.33	0.02
					0.02
Equipos					
Camión Volquete	hm	1.00	0.01	226.69	1.97
					1.97

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Concreto ciclópeo f'c=140kg/cm2	Unidad	m3/día
Rendimiento	24.00	P.U S/.	208.72

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	1.00	0.33	17.15	5.72
Operario	hh	2.00	0.67	14.29	9.53
Oficial	hh	2.00	0.67	12.54	8.36
Peón	hh	9.00	3.00	11.33	33.99
					57.60
Materiales					

Cemento Tipo 1	bls		4.50	21.00	94.50
Aditivo	kg		0.10	5.06	0.51
Pintura	gl		0.15	4.55	0.68
					95.69
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	57.60	2.88
Mezcladora	hm	1.00	0.33	23.50	7.83
Teodolito	hm	1.00	0.33	8.55	2.85
					13.56
Subpartidas					
Arena	m3		0.34	19.38	6.57
Agua	m3		0.14	11.21	1.61
Piedra Chancada	m3		0.65	34.68	22.54
Piedra Grande			0.30	37.15	11.15
					41.87

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Concreto f'c=210kg/cm2	Unidad	m3/día
Rendimiento	25.00	P.U S/.	296.32

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	1.00	0.32	17.15	5.49
Operario	hh	2.00	0.64	14.29	9.15
Oficial	hh	2.00	0.64	12.54	8.03
Peon	hh	10.00	3.20	11.33	36.26
					58.93
Materiales					
Cemento Tipo 1	bls		8.50	21.00	178.50
Aditivo	kg		0.10	5.06	0.51
Pintura	gl		0.15	4.55	0.68
					179.69
Equipos					
Herramienta Manual	%MO		0.05	58.93	2.95
Mezcladora	hm	1.00	0.64	23.50	15.04
Teodolito	hm	1.00	0.32	8.55	2.74
					20.73
Subpartidas					
Arena	m3		0.45	19.38	8.72
Agua	m3		0.20	11.21	2.24
Piedra Chancada	m3		0.75	34.68	26.01
					36.97

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Encofrado plano vertical	Unidad	M2/día
Rendimiento	42.00	P.U S/.	42.39

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Operario	hh	2.00	0.38	14.29	5.44
Oficial	hh	1.00	0.19	12.54	2.39
Peon	hh	4.00	0.76	11.33	8.63
					16.46
Materiales					
Clavos de 3''	kg		0.40	3.50	1.40
Alambre negro 8	kg		0.25	3.50	0.88
Madera Tornillo	p2		2.85	4.50	12.83
Triplay	pin		0.36	24.20	8.82
					23.93
Equipos					
Desgaste de herramienta	%MO		0.05	16.46	0.82
Winche	hm	1.00	0.19	6.00	1.18
					2.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Partida	Encofrado plano horizontal	Unidad	M2/día
Rendimiento	12.00	P.U S/.	105.52

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.30	0.20	15.89	4.87
Operario	hh	2.00	1.33	14.29	20.72
Oficial	hh	2.00	1.33	12.54	24.96
Peon	hh	3.00	2.00	11.33	27.98
					78.53
Materiales					
Clavos de 3''	kg		0.40	3.50	1.40
Alambre negro 8	kg		0.25	3.50	0.88
Madera Tornillo	p2		2.85	4.50	12.83
Triplay	pin		0.36	24.20	8.82
					23.93
Equipos					

Desgaste de herramienta	%MO		0.05	78.53	3.93
Winche	hm	1.00	0.19	6.00	1.18
					2.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Acero de refuerzo f'y = 4200
Partida Kg/cm2 Unidad kg
Rendimiento 12.00 P.U S/. 3.27

Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.30	0.01	15.89	0.24
Operario	hh	2.00	0.06	14.29	0.93
Oficial	hh	1.00	0.03	12.54	0.56
Peon	hh	1.00	0.03	11.33	0.42
					2.16
Materiales					
Clavos de 3''	kg		0.02	4.8	0.07
Alambre negro 8	kg		1.01	2.9	1.05
					1.12
Equipos					
CIZALLA P/CORTE DE FIERRO	hm	1.00	0.03	5.00	0.16
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.05	0.92	0.05
					0.21

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Item	Nombre	Unidad	Cantidad	Dimensiones			parcial	total
				largo	ancho	Altura		
1.00	1. BOCATOMA SAN PEDRO							
	OBRAS PROVISIONALES							
1.01	Transporte de maquinaria y equipo	GLB						
1.02	Campamento provisional	GLB	1.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00
1.03	Cartel de obra	UND	1.00					1.00
2.00	TRABAJOS PRELIMINARES							
2.01	Desvío Provisional	GLB	1.00					1.00
2.02	Limpieza y desbroce	M2	1.00	30.00	50.00			1,500.0
2.03	Trazo y replanteo	M2	1.00	30.00	50.00			1,500.0
3.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS - CORTE							
3.01	Excavación en material Común h<=2m	M3	2.00	50.00	10.00	5	2,531.65	2,531.65
3.02	Excavación en Roca	M3	2.00	10.00	10.00	5	506.33	506.33
3.03	Excavación para estructuras	M3	1.00	10.00	5.00	1	25.32	25.32
3.04	Relleno Compactado con Material de Sitio	M3						
4.00	CONCRETOS							
4.01	Concreto ciclopeo (40% piedra-60%concreto)	M3						222.66
	Barraje	m3	1.00	10.00	2.50	1.65	20.89	
	cimentacion	m3	1.00	10.00	1.40	2.55	18.08	
	Barraje	m3	1.00	10.00	7.50	1.4	53.16	
	Escollera	m3	1.00	15.00	3.00	1.4	31.90	
	Muro de encausamiento derecho	m3	1.00	40.00	2.50	1.5	75.95	
	cimentacion	m3	1.00	40.00	0.40	2.8	22.68	
4.02	Concreto f'c=210kg/cm2	M3						58.06
	Muros de encausamiento	m3	1.00	40.00	1.50	1.5	45.57	
	cimentacion	m3	1.00	40.00	0.15	2.8	8.51	
	muro de encausamiento	m3	1.00	12.50	0.15	2.8	2.66	
	Muro de canal de Purga	m3	1.00	7.00	0.15	1.5	0.80	
	Desripiador	m3	1.00	7.00	0.15	1	0.53	
6.00	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO							248.91
6.01	Encofrado y desencofrado plano vertical	m2	3.00	40.00	3.00	1	182.28	
	Muros de encausamiento	m2	2.00	12.50	3.00	1	37.97	
	Desripiador y canal de transicion	m2	2.00	7.00	1.70	1	12.05	
	Barraje	m2	2.00	7.00	1.20	1	8.51	
		m2	1.00	1.60	10.00	1	8.10	
6.02	Encofrado y desencofrado plano horizontal	m2						67.60
	Colchon	m2	1.00	7.50	10.00	1	37.97	
	Escollera	m2	1.00	3.50	15.00	1	26.58	
	Descripiador	m2	1.00	2.45	2.45	1	3.04	
7.00	ACERO DE REFUERZO							6,667.25
7.01	Acero de refuerzo f'y = 4200 Kg/cm2	KG	1.00	6,667.25				
8.00	COMPUERTAS Y VALVULAS							
8.01	Compuerta Metalica para canal desripiador 3.5*0.4 m	UND	1.00					1.00
8.02	Compuerta Metalica para canal de purga 4.6*1.5 m	UND	1.00					1.00
8.03	Válvula de compuerta lateral circular sello en bronce CRM diám.= 6"	UND	1.00					1.00
8.04	Válvula de compuerta lateral circular sello en bronce CRM diám.= 4"	UND	1.00					1.00
8.05	Válvula de compuerta sello elástico. VnA HD. Ext. Lisos diám.=4".	UND	1.00					1.00
8.06	Rejilla Metálica. 3.50 x 0.60 mt. Consta de 2 Angulos de 1.5" x 3/16" y varillas	UND	1.00					1.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del SENAMHI)

Anexo 4: Estudio de rentabilidad del proyecto

En el anexo 4, se presentan los rendimientos de cultivos, precios en chacra de los cultivos y costo de producción.

PRECIO Y COSTO DE PRODUCCION EN CHACRA

CULTIVOS	PRECIO (S/. x Kg)	COSTOS DE PRODUCCION (Kg/ha)
Papa	0.67	5475.36
Habas	0.42	936.56
Trigo	1.77	1000.00
Maiz	1.09	2213.58
Cebada	0.83	533.40
Alfalfa	0.24	1200.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del MINAGRI 2015)

RENDIMIENTOS DE CULTIVOS SIN PROYECTO Y CON PROYECTO

CULTIVOS	RENDIMIENTO SIN PROYECTO (kg/ha)	RENDIMIENTO CON PROYECTO (kg/ha)
Papa	11500.00	12000.00
Habas	2200.00	2500.00
Trigo	1000.00	1236.00
Maiz	2100.00	2500.00
Cebada	700.00	750.00
Alfalfa	20000.00	26000.00

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados. (usando información del MINAGRI 2015)

Anexo 5: Registro Fotográfico

En el anexo 5, se presentan el registro fotográfico de los campos cultivables de San Pedro y Santa Cruz y del río San Pedro.

Comunidad San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Acceso a la comunidad de San Pedro

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

Comunidad Santa Cruz

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.

RÍO SAN PEDRO

Fuente: Contreras&Villegas (2019). Todos los derechos reservados.