

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN EN LADERAS  
PARA LA RECARGA HÍDRICA EN EL DISTRITO HUAYLLACAYAN,  
PROVINCIA BOLOGNESI, DEPARTAMENTO ANCASH”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**OSCAR LUIS ARANA TORRES**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**“CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN EN LADERAS  
PARA LA RECARGA HÍDRICA EN EL DISTRITO  
HUAYLLACAYAN, PROVINCIA BOLOGNESI, DEPARTAMENTO  
ANCASH”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. OSCAR LUIS ARANA TORRES**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO  
Presidente

Dr. ABSALÓN VÁSQUEZ VILLANUEVA  
Asesor

Mg. Sc. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS  
Miembro

Mg. Sc. ALEXIS ENRIQUE RUBIO VALLE  
Miembro

LIMA – PERU

2021

## **DEDICATORIA**

A mi madre Lourdes que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre Walter que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

También se lo dedico a mi novia Erika quien me acompaño en la sustentación del trabajo de suficiencia profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento especial a mi madre Lourdes por la oportunidad y el apoyo incondicional en todas las etapas de mi formación profesional

A mi asesor, el Dr. Absalón Vásquez Villanueva, por la confianza y el apoyo en el proceso de ejecución y redacción del presente trabajo

Finalmente agradezco a mi familia, a mis amigos y a mis maestros de la facultad de Ingeniería Agrícola por todo lo aprendido durante este tiempo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>III. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>IV. DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>5</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	5
4.1.1. Ubicación del area de trabajo .....	5
4.1.2. Población beneficiada.....	8
4.1.3. Accesos y vías de comunicación .....	9
4.2. ETAPA 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	10
4.2.1. Información meteorológica .....	10
4.2.2. Temperatura.....	12
4.2.3. Humedad relativa.....	12
4.2.4. Velocidad de viento .....	12
4.2.5. Evaporación media .....	13
4.2.6. Evapotranspiración potencial .....	13
4.2.7. Precipitación .....	13
4.3. ETAPA 2: TRABAJÓ DE RECONOCIMIENTO .....	13
4.3.1. Topografía .....	14
4.3.2. Clima .....	15
4.3.3. El suelo .....	15
4.3.4. La vegetación.....	16
4.4. ETAPA 3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA ZANJA DE INFILTRACIÓN .....	18
4.4.1. Selección del Periodo de retorno .....	19
4.4.2. Análisis estadístico de frecuencia.....	20
4.4.3. Ajustes a la función de Gumbell (método de momentos) .....	21
4.4.4. Construcción de las curvas IDF.....	23
4.4.5. Coeficiente de escorrentía .....	26
4.4.6. Velocidad de infiltración .....	26
4.4.7. Diseño de las zanjas de infiltración .....	27
4.4.8. Distanciamiento entre zanjas .....	30

4.4.9.	Resultado del diseño de zanjas de infiltración.....	31
4.4.10.	Recarga hídrica promedio para la recarga de fuentes de agua .....	31
4.5.	ETAPA 4: CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	35
4.6.	RESULTADOS ESPERADOS.....	38
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	40
5.2.	RECOMENDACIONES.....	41
<b>VI.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vías de acceso Lima - Shulluqocha .....	10
Tabla 2 : Estaciones meteorológicas utilizadas .....	11
Tabla 3: Temperatura promedio multianual de la estación Chiquian.....	12
Tabla 4: Humedad relativa media mensual (%) estación Chiquian.....	12
Tabla 5: Evaporación media mensual estación Chiquian.....	13
Tabla 6: Tipos de bosque y otras formaciones vegetales en el distrito de Huayllacayan....	17
Tabla 7: Cobertura Vegetal del Área del Proyecto Shulluqocha.....	17
Tabla 8: Meta planteada y volumen de almacenamiento en las zanjas de infiltración para la intensidad máxima de precipitación de la zona .....	19
Tabla 9: Datos de precipitación máximas de 1995 – 2018.....	22
Tabla 10: Método de Gumbel Valores de $Y\mu$ y $\sigma_y$ .....	23
Tabla 11: Parámetros determinado para intensidad máxima para un Periodo de retorno de 20 años .....	23
Tabla 12: Cálculo de Intensidades máximas (mm/hr) según el periodo y duración estimado.....	24
Tabla 13: Coeficiente de escorrentía .....	26
Tabla 14: Velocidad de infiltración promedio en la localidad de Shulluqocha.....	27
Tabla 15: Volumen de impluvio.....	28
Tabla 16: volumen de captación de las zanjas.....	29
Tabla 17: Volumen de infiltración .....	30
Tabla 18: Distanciamiento entre zanjas .....	30
Tabla 19: Calculo del balance hidrológico .....	31
Tabla 20: Análisis de volumen .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona tratada con zanjas de infiltración.....	6
Figura 2: Ubicación de la zona de intervención del proyecto .....	7
Figura 3: Área tratada con zanjas de infiltración en Shulluqocha.....	8
Figura 4: Perfil longitudinal de una zanja de infiltración .....	9
Figura 5: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el presente proyecto.....	11
Figura 6: Vista panorámica de Shulluqocha .....	14
Figura 7: Vista de Shulluqocha, área de trabajo afectado por la erosión hídrica.....	16
Figura 8: Cobertura vegetal propia de la zona de estudio .....	18
Figura 9: Curva de Duración, intensidad y frecuencia (IDF) – estación Mayorarca .....	25
Figura 10: Aportación de volumen de infiltración a las diferentes fuentes de agua .....	32
Figura 11: Vista panorámica de zanjas de infiltración en ladera izquierda.....	33
Figura 12: Construcción de tabique .....	34
Figura 13: Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera de Shulluqocha.....	35
Figura 14: Bordo inferior de la zanja de infiltración .....	36
Figura 15: Material apisonado formando un bordo .....	37
Figura 16: Elaboración de tabiques de la zanja .....	38
Figura 17: Trazo de zanja de infiltración con nivel A .....	50
Figura 18: Trabajo de excavación de zanjas de infiltración .....	50
Figura 19: Zanjas de infiltración ladera izquierda.....	51
Figura 20: Trabajo de excavación de zanjas de infiltración .....	51
Figura 21: Nivelación de borde en la zanja de infiltración.....	52
Figura 22: Zanjas de infiltración ladera derecha .....	52
Figura 23: Tabique hecho con el material propio del lugar.....	53
Figura 24: Bordo inferior con material extraído de la zanja de infiltración .....	53
Figura 25: Zanjas de infiltración en funcionamiento.....	54
Figura 26: Trabajo de excavación para la construcción de zanjas de infiltración.....	54
Figura 27: Supervisión al personal de campo en la construcción de zanjas.....	55
Figura 28: Excavación de zanjas de infiltración .....	55
Figura 29: Zanja de infiltración con bordo superior .....	56
Figura 30: Zanjas de infiltración en funcionamiento en la localidad de Shulluqocha .....	56
Figura 31: Suelo erosionado por la escorrentía superficial en Shulluqocha .....	57

Figura 32: Zanjas de infiltración en ladera izquierda .....	57
Figura 33: Trabajo de zanjas de infiltración en ladera derecha.....	58
Figura 34: Trabajo de construcción de zanjas de infiltración en ladera izquierda .....	58

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Precipitación Mensual.....	45
Anexo 2: Precipitación máxima en 24 horas .....	46
Anexo 3: Análisis de suelos en la localidad de Shulluqocha .....	47
Anexo 4: Cobertura vegetal de la zona de Shulluqocha.....	48
Anexo 5: Prueba de infiltración.....	49
Anexo 6: Panel fotográfico.....	50

## **I. PRESENTACIÓN**

En el presente trabajo se analizan los criterios más importantes que se deben tener en cuenta para el diseño y construcción de zanjas de infiltración en zonas de ladera, para captar el agua de escorrentía superficial, de acuerdo a las condiciones propias del lugar donde se realicen dichos trabajos. Las zanjas de infiltración son prácticas de conservación de suelos y aguas, que se aplican en zonas de laderas, pues permiten captar el agua de escorrentía superficial y facilitar su infiltración y humedecimiento de las áreas aguas abajo contiguas a las zanjas, favoreciendo el crecimiento de la vegetación instalada en dichas áreas, así mismo favorece la recarga del flujo subterráneo que alimentan a los ojos de agua, manantiales o llamados en otros lugares como puquiales; así como también permite el control de la erosión de los suelos en las laderas tratadas, favoreciendo consecuentemente la activación del ciclo hidrológico y mejorando la disponibilidad de agua en las zonas en la época de estiaje.

El trabajo consistió en la construcción de 19,000 ml de zanjas de infiltración en 57 hectáreas de zonas de laderas de la localidad Shulluqocha, distrito Huayllacayan, provincia Bolognesi, departamento Áncash. Con la realización de estos trabajos se estima la captación por lo menos de unos 138344.7 m<sup>3</sup> de agua de escorrentía de los cuales se estima que lograra infiltrar 131210.8m<sup>3</sup>, los mismos que son de gran ayuda para la población beneficiada sobre todo en la época de estiaje. Para el desarrollo del presente trabajo se contó con la activa participación de la población local, pues consideraban de gran importancia los resultados que se obtendrían, pues los estiajes son muy severos en la zona.

## II. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la población supera actualmente los 7,200 millones de personas. De ellas, más de 2000 millones de personas viven en países que sufren de “estrés hídrico”.

El Perú como un país que sufre de estrés hídrico, sobre todo en la costa por ser una región árida y la región alto andina semiárida por tener 8 meses de estiaje acentuado y con condiciones topográficas bastante difíciles. La costa es la región con mayor cantidad de población pues alberga alrededor del 58% de la población del país y es al mismo tiempo es la región con mayor actividad industrial y económica del país y que se abastece de agua solamente de las que proviene de las lluvias que caen en la parte alta de las cuencas (sierra) y de la explotación de aguas subterráneas en la parte baja de la cuencas y teniéndose en cuenta a su vez que su recarga de dichos acuíferos depende de la infiltración de aguas de lluvias en la parte alta y medias de la cuenca. Por otro lado, las lluvias en la sierra alto andina se escurren hacia las quebradas y ríos para finalmente llegar al mar, al no ser captadas mayormente por falta de estructuras de almacenamiento como reservorios, qochas, zanjas de infiltración, reforestación, recuperación de pastizales entre otras actividades, que ayudaría a infiltrar el agua precipitada y a regular adecuadamente el abastecimiento de agua en la cuenca.

Las zanjas de infiltración, en combinación con plantaciones forestales y pasturas, no sólo permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión, sino que han demostrado su capacidad de captación e infiltración de agua de escorrentía superficial. Con el uso de esta prácticas conservacionistas se logra disponer de mayor cantidad agua en época de estiaje en las partes medias y bajas de las cuencas; Además de ayudar a la recuperación de la cubierta vegetal y a la regeneración de la flora y fauna de la zona.

Las zanjas de infiltración, son pequeñas estructuras hidráulicas de forma trapezoidal o rectangular y que se construye en forma perpendicular al flujo de escorrentía y con una

pendiente cero en el fondo de las zanjas. Las características hidráulicas de las zanjas que se construyeron son: pendiente longitudinal cero, ancho de la base 30-50 cm, ancho borde superior 40 – 80 cm, profundidad efectiva entre 30 – 50 cm, tabiques de 20 a 30 cm de espesor cada uno y espaciados cada 8 a 20 m a lo largo de la zanja de infiltración. (Vásquez et al, 2016)

El principal objetivo de este trabajo fue incrementar la oferta hídrica en la localidad de Shulluqocha, ubicado en el distrito de Huayllacayan, producto de la construcción de la zanja de infiltración ya que en esta zona en época de estiaje la disponibilidad de recurso hídrico es sumamente crítico para la población asentada en esta zona.

El planteamiento de conservar y potenciar la capacidad de retención, almacenamiento de las aguas y reforestación de las reservas naturales en cabeceras de cuencas, tiene por finalidad aumentar la oferta hídrica durante el periodo de estiaje; es por ello, el Estado Peruano a través de la Unidad Ejecutora “Fondo Sierra Azul” dependiente del ministerio de desarrollo agrario riego, el cual programó la realización de este trabajo que consiste en implementar actividades de siembra y cosecha de agua de lluvia mediante la construcción de 19000 ml de zanjas de infiltración, abarcando en total unas 57 hectáreas de laderas, ubicadas en la localidad Shulluqocha ,distrito Huayllacayan, provincia Bolognesi, departamento Áncash.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo principal de este trabajo es incrementar la oferta hídrica en la localidad de Shulluqocha, distrito Huayllacayan, provincia Bolognesi, departamento Áncash; mediante la construcción de zanjas de infiltración.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar las características físicas, socio- económica y de disponibilidad de agua en la localidad de Shulluqocha.
- Disminuir las tasas de pérdida de suelo por erosión hídrica en la localidad de Shulluqocha.
- Diseño hidráulico de las zanjas de infiltración para la captación de agua de lluvia en las laderas de Shulluqocha.
- Incrementar la infiltración de agua de lluvia captada mediante zanjas de infiltración para incrementar el flujo subterráneo y mejorar la disponibilidad de agua de Shulluqocha.

## **IV. DESARROLLO DEL TRABAJO**

La ejecución en el campo de este proyecto ha permitido poner en práctica mis conocimientos y habilidades adquiridas durante mi formación en la carrera de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria la Molina.

El diseño de zanjas de infiltración propuesto para la ejecución del presente trabajo, consistió fundamentalmente en determinar el espaciamiento entre zanjas, de tal forma que permita un control adecuado de la erosión de los suelos; asimismo, la capacidad de captación de agua de las zanjas debe permitir el almacenamiento del volumen de agua de escorrentía superficial producido por la lluvia. En el diseño hidráulico propuesto en las zanjas de infiltración se deben considerar previamente cuatro conceptos hidrológicos; el período de retorno, las curvas intensidad-duración-frecuencia, la velocidad de infiltración de los suelos y el coeficiente de escorrentía, para así diseñar las obras que favorecen la captación e infiltración de las aguas precipitadas en la zona de proyecto.

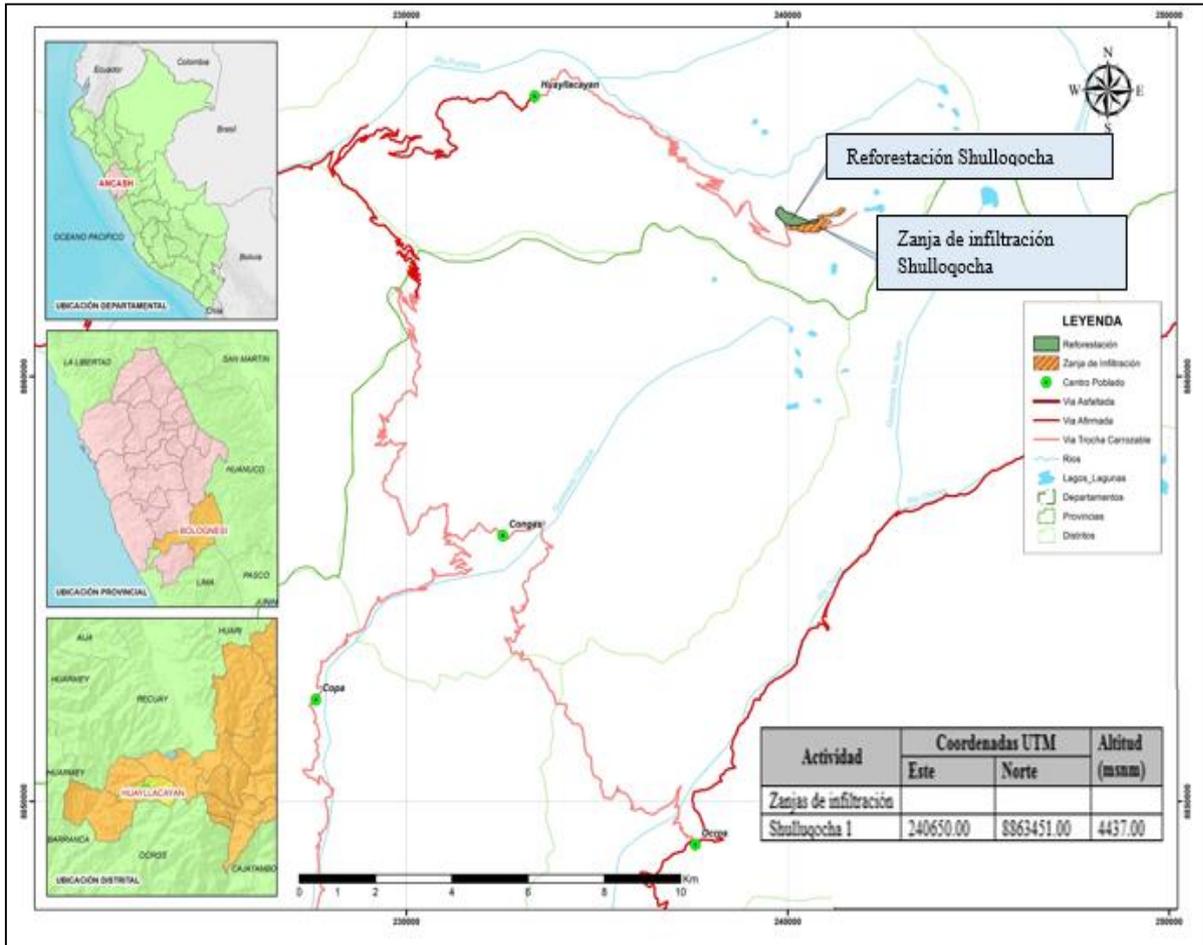
### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

En el proyecto efectuado se aplican los criterios de diseño para las zanjas de infiltración que se construyeron en las laderas de la localidad de Shulluqocha en el distrito Huayllacayan, provincia Bolognesi, región Ancash, que tiene como problema álgido la falta de recurso hídrico, especialmente en la época de estiaje. Para lo cual se llevó a cabo la construcción de zanjas de infiltración para la recarga hídrica y la conservación de suelos. Esta obra es considerada por los pobladores de la localidad de gran utilidad porque les permitirá mitigar el creciente estrés hídrico que sufren permanentemente.

#### **4.1.1. Ubicación del área de trabajo**

El área del proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia, está ubicado en el valle Purísima, formado por el río del mismo nombre, en la cordillera de Huayhuas, localidad de Shulluqocha, distrito Huayllacayan, provincia Bolognesi, departamento Áncash a una altitud

entre los 4300 y 4450 msnm, que forma parte de la cuenca hidrográfica regional del río Fortaleza, su constitución geológica tiene origen aluvial; el suelo está cubierto por laderas erosionadas y áreas con depresiones. En la siguiente figura se muestra la zona del ámbito de trabajo.



**Figura 1: Ubicación de la zona tratada con zanjas de infiltración**

**a. Ubicación Geográfica**

- Latitud Sur : 10°14'41'' S
- Latitud Oeste : 77°26'04'' W
- Altitud : 3256 msnm

**b. Ubicación Política**

- Región : Áncash
- Provincia : Bolognesi

- Distrito : Huayllacayan

### c. Ubicación Hidrográfica

En relación a la hidrografía del área de estudio, se encuentra delimitada por los cuerpos de agua que discurren desde la parte alta de la cabecera de cuenca Fortaleza como se muestra en la Figura 2, las cuales presentan la siguiente clasificación:

- Unidad Hidrográfica : Región Hidrográfica del Pacífico
- Cuenca : Fortaleza
- Sub Cuenca : Río Purísima

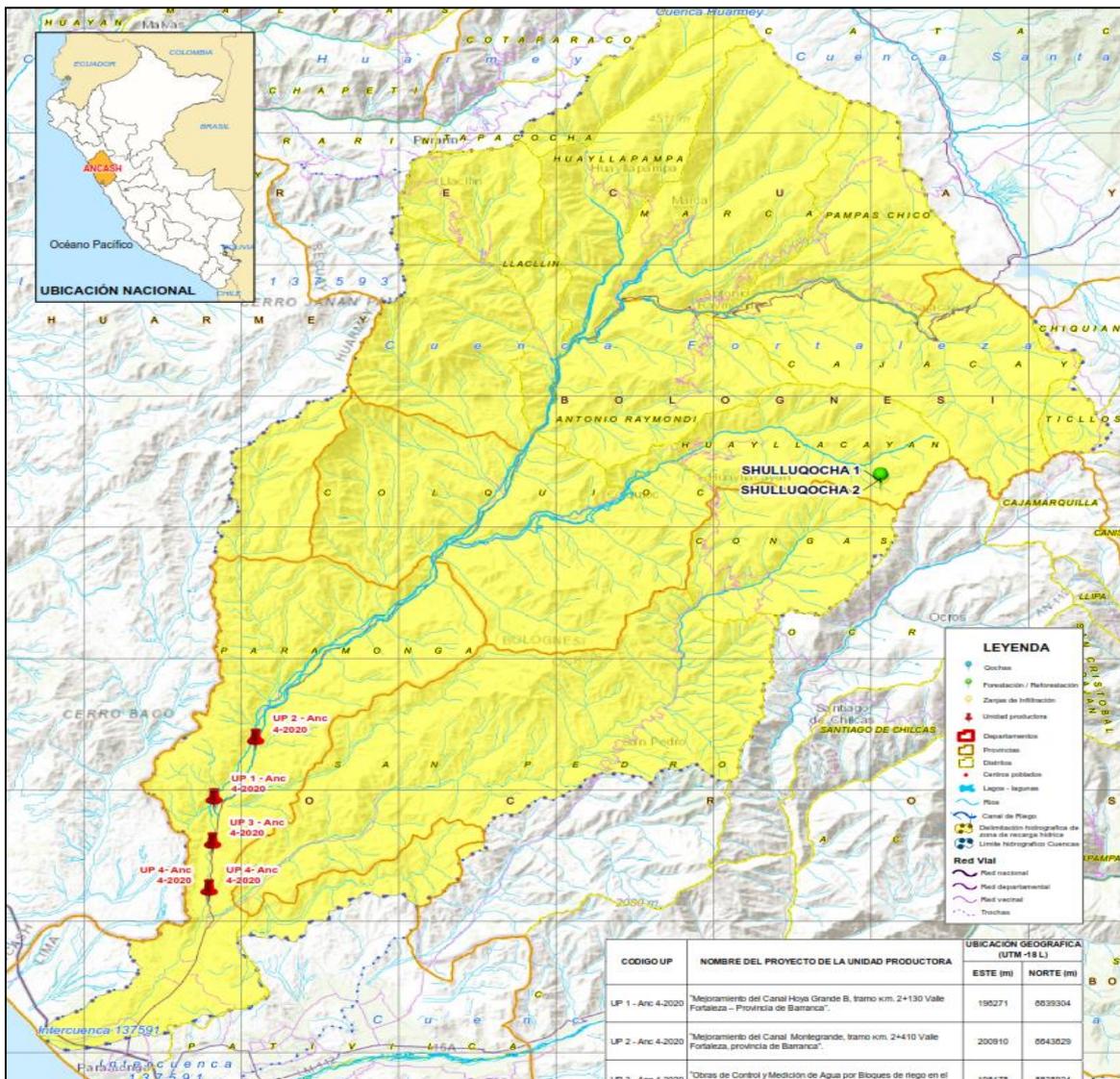


Figura 2: Ubicación de la zona de intervención del proyecto

#### **4.1.2. Población beneficiada**

Los beneficiarios directos del proyecto sierra azul resultado de la siembra y cosecha de agua de lluvia, comprenden a 31 familias pertenecientes a la localidad de Shulluqocha, que representa a una población total de 155 habitantes y 173 has de superficie. Indirectamente se beneficiará a 265 familias de los usuarios de riego de las Unidades Productoras de la zona; que representan a unos 1325 habitantes; con un área de servicio de 682 has, puesto que favorecerá a la agricultura; que es su principal actividad económica.

En la Figura 3, se muestra una parte de la zona tratada con zanjas de infiltración construidas con la participación de la población en la zona de ámbito del proyecto Shulluqocha.



**Figura 3: Área tratada con zanjas de infiltración en Shulluqocha**

En la Figura 4, se muestra la zanja ya construida donde se observa los tabiques que se utilizan para corregir alguna mínima pendiente que podría tener el fondo de las zanjas al final de su construcción y al mismo tiempo distribuir uniformemente el agua captada a lo largo de la

zanja de infiltración.



**Figura 4: Perfil longitudinal de una zanja de infiltración**

#### **4.1.3. Accesos y vías de comunicación**

El principal centro poblada en el ámbito del proyecto, es la localidad de Shulluqocha; la cual se encuentra interconectada al distrito de Huayllacayan, a donde se llega desde la provincia de Bolognesi, tomando una trocha carrozable en regular estado de mantenimiento. Al departamento de Ancash se llega desde la región Lima por medio de vías departamentales.

En la siguiente tabla se muestra las vías de acceso para la zona de ejecución del proyecto Shulluqocha.

**Tabla 1: Vías de acceso Lima - Shulluqocha**

Tramo		Distancia	Tiempo	Carretera / Vía		
Inicio	Final	(Km)	(Horas)	Nivel	Tipo de vía	Estado
Lima	Paramonga	200.00	02:54	Carretera 1N	Asfaltada	Buena
Paramonga	Chasquitambo	48.80	00:43	Carretera 16	Asfaltada	Buena
Chasquitambo	Huayllacayan	34.00	01:09	Carretera local	Trocha carrozable	Regular
Huayllacayan	Shulluqocha	19.60	00:30	Carretera provincial	Trocha carrozable	Regular

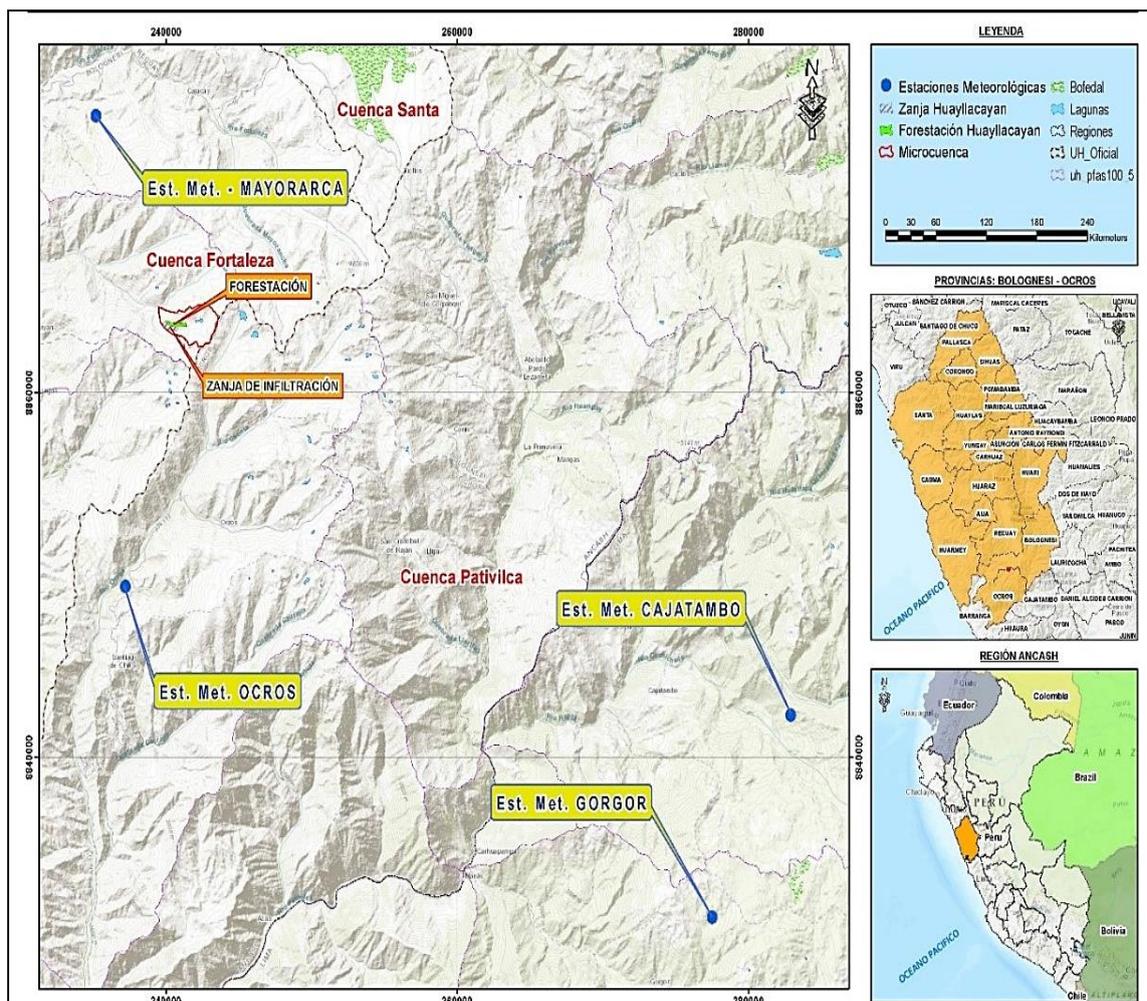
FUENTE: Elaboración propia

## 4.2. ETAPA 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Comprende el acopio de información de trabajos similares a nivel local, regional, nacional, así como el material cartográfico, imágenes satelitales, datos meteorológicos e hidrológicos, entre otros. El análisis bibliográfico ha consistido en la consulta y la revisión de distintas referencias bibliográficas.

### 4.2.1. Información meteorológica

La información meteorológica empleada corresponde a los registros de la red de estaciones meteorológicas y pluviométricas a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que registran parámetros meteorológicos como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el presente proyecto**

En la Tabla 2 se muestra las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de trabajo.

**Tabla 2 : Estaciones meteorológicas utilizadas**

Código	Nombre	Cuenca	Departamento	Coordenadas geográficas		Altitud (m.s.n.m.)
				Longitud	Latitud	
110040	Mayorarca	Fortaleza	Ancash	-77.348	-10.157	3335
110018	Chiquian	Pativilca	Ancash	-77.159	-10.147	3386
110051	Ocros	Fortaleza	Ancash	-77.400	-10.405	3249
110019	Cajatambo	Pativilca	Ancash	-76.989	-10.478	3432
110041	Gorgor	Pativilca	Ancash	-77.040	-10.621	3025

FUENTE: Estudio recursos hídricos Pativilca (2015), ANA

#### 4.2.2. Temperatura

La temperatura promedio para el período estudiado (1965 – 2013), en base a la información de la estación meteorológica Chiquian que es la única estación que cuenta con información meteorológica de temperatura y es la más cercana a la obra del proyecto. Las temperaturas medias mensual es de 12 °C, máxima mensual es de 21 °C y mínima mensual es de 4 °C, estableciéndose un gradiente térmico medio de, aproximadamente, -0,7 °C y -0,3 °C cada 100 m para altitudes mayores y menores a 3 500 msnm respectivamente como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3: Temperatura promedio multianual de la estación Chiquian**

PARÁMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PRO.
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	-
Temp. Media (°C)	11.9	11.7	11.8	12.3	12.3	11.9	11.8	12.1	12.4	12.4	12.3	12.1	12
Temp. Mín. (°C)	4.7	4.8	5.0	5.0	4.5	3.8	3.6	4.1	4.5	4.5	4.4	4.6	4
Temp. Máx. (°C)	20.4	20.2	20.3	20.8	21.0	20.9	21.1	21.5	21.6	21.3	21.2	20.7	21

FUENTE: ANA, Estudio recurso hídrico del río Pativilca (ERH) (2015)

#### 4.2.3. Humedad relativa

La humedad relativa promedio es de 71.50 %, presentando ésta un patrón de variabilidad diferente en las zonas, donde la humedad relativa es elevada y relativamente constante todo el año, respecto las zonas más altas del interior, produciéndose valores de humedad relativa máximos en febrero y mínimos en julio (ver Tabla 4).

**Tabla 4: Humedad relativa media mensual (%) estación Chiquian**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
74.60	78.30	77.90	75.30	68.00	65.30	62.70	57.50	62.20	68.50	64.30	69.00	71.50

FUENTE: Estudio recurso hídrico Pativilca (2015), ANA

#### 4.2.4. Velocidad de viento

La velocidad del viento presenta poca variabilidad estacional, siendo las diferencias intermensuales promedio del orden de 2.93 m/s en las estaciones analizadas, tiene un incremento máximo de apenas 3.16 m/s en función de las estaciones en las que existen registros representativos.

#### 4.2.5. Evaporación media

En las cotas bajas los mínimos de evaporación medida se producen en los meses de junio y agosto, según la evaluación de recursos hídricos en la cuenca Pativilca (2015). En la Tabla 5 se muestra los datos de evaporación media mensual.

**Tabla 5: Evaporación media mensual estación Chiquian**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
111.9	106.2	107	98	74.5	58.1	60.8	78.5	97.8	113.7	130.4	129.5	1084,6

FUENTE: Estudio recurso hídrico de Pativilca (2015), ANA

#### 4.2.6. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial promedio determinado para el periodo estudiado es de 1084.64 mm/año, calculados en base a los datos meteorológicos de la estación Chiquian. Es de resaltar que los valores de la evapotranspiración potencial aumentan con la altitud, teniendo una variación anual diferente entre las estaciones de altitud elevada y las de las zonas más bajas.

#### 4.2.7. Precipitación

La información pluviométrica en la cuenca fortaleza proviene de los registros de 04 estaciones meteorológicas, de los cuales 2 estaciones corresponden a cuencas vecinas (cuenca Pativilca y cuenca Santa). El período de lluvias de mayor magnitud comienza a partir del mes de octubre y se prolonga hasta marzo, correspondiendo el 72.52% de las precipitación total; el período seco (invierno) comprende los meses de mayo a setiembre, sus mínimos valores llegan a ser del 7.15% de lluvias y durante los meses de abril, octubre y noviembre, presentan el 20.33% de lluvias en promedio de las estaciones. La estación Mayorarca siendo la más cercana a la zona de trabajo, registra una precipitación promedio total anual de 554.97 mm (ver Anexo 1 y Anexo 2).

### 4.3. ETAPA 2: TRABAJO DE RECONOCIMIENTO

En esta etapa se realizó la observación, reconocimiento y recopilación de información básica de aspectos físicos y socio-económicos de Shulluqocha.

En la Figura 6 se muestra una vista panorámica de la zona de trabajo, las cuales ha permitido un conocimiento de la geomorfología y la problemática de la falta de agua en la microcuenca del río Purísima, con la finalidad de conocer el comportamiento hidrológico y el funcionamiento de la microcuenca como un sistema natural, la suma de recursos hídricos, que junto a la observación de su cobertura vegetal y suelos en general, ha llevado a la validación de diferentes parámetros como el coeficiente de escorrentía.



**Figura 6: Vista panorámica de Shulluqocha**

#### **4.3.1. Topografía**

La topografía influye directamente en la magnitud de la erosión hídrica que junto con el estado de cobertura vegetal determina el coeficiente de escorrentía. Los factores evaluados fueron el grado de la pendiente, la longitud de la pendiente, las dimensiones del área de

impluvio y el estado de cobertura vegetal.

El relieve general de la cuenca es muy accidentado conformado por quebradas pronunciadas y pendientes medias a altas, las que dan nacimiento a vertientes de los ríos principales, estas se caracterizan por ser poco estables, erosionan sus cauces, producto de sus altas pendientes, esto es característico en áreas de cabecera de cuenca en la zona de proyecto el terreno tiene pendiente de 30 a 40%.

En la parte media, la erosión de los suelos son mayores, producto de las altas pendientes y falta de cobertura vegetal esto es característico en muchas áreas de las cabeceras de cuenca. Sobre los 4500 msnm., el terreno no presenta muchas colinas ni altas pendientes, pero son terrenos que presentan una ondulación alta y continua. Mientras que, por debajo de los 4200 msnm., existen colinas altamente escarpadas, con numerosas quebradas y ríos temporales profundos formando el valle fortaleza con áreas planas en las zonas cercanas al mar.

#### **4.3.2. Clima**

Los factores climáticos que afectan la intensidad de la erosión hídrica es principalmente la precipitación, sin embargo no dejan de ser importantes las otras variables como la temperatura, el viento, la humedad y la radiación solar.

La caracterización climática, identifica y describe la distribución de los tipos de clima existentes en toda el área de estudio, estas condiciones climáticas particulares, son de gran importancia ya que determinan el comportamiento del ciclo hidrológico que está ligado a tipos de cobertura vegetal, pendiente, geología, uso actual de suelos entre otros aspectos.

#### **4.3.3. El suelo**

Las propiedades físicas del suelo afectan la capacidad de infiltración y la distancia que sus agregados puedan dispersarse y transportarse por el impacto de las gotas de lluvias y la escorrentía. El valor de la erosión varía con la textura debido a la diferencia de la velocidad de infiltración, percolación y desagregación. Un suelo suelto no puede retener mucha agua, por lo que el excedente pasa a las capas más profundas, por el contrario cuando llueve sobre un suelo arcilloso que tiene una baja capacidad de infiltración, la mayor cantidad agua de

lluvia se escurre sobre la superficie. En la Figura 7 se muestra una vista de Shulluqocha.

En el Anexo 3 se detalla con el análisis de muestra de suelo tomado en la localidad de Shulluqocha y que fueron realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Los resultados indican que se trata de suelos franco a franco arenoso.



**Figura 7: Vista de Shulluqocha, área de trabajo afectado por la erosión hídrica**

#### **4.3.4. La vegetación**

La vegetación es importante en la interceptación de las gotas de lluvia evitando el impacto directo al suelo y reduce la escorrentía superficial. También influye en la disminución de la velocidad de escorrentía, limita el movimiento del suelo desprendido y aumenta la capacidad de almacenaje de agua en el suelo.

Dentro de las unidades de vegetación natural, los herbazales de tipo rastrero que se distribuyen en colinas y montañas son la más abundante, las coberturas de tipo de bosque, el tipo montano y de tipo pre montano son los más representativos en el distrito de Huayllacayan, como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6: Tipos de bosque y otras formaciones vegetales en el distrito de Huayllacayan**

Tipo	Unidades de vegetación	Superficie (Ha)
	Bofedales	
	Herbazal Erguido y Matorral Andino Húmedo de Colinas, Montañas y Planicie	
	Herbazal Erguido Altoandino Xerico de Colinas y Montañas	
Herbazal	Herbazal Erguido Andino Húmedo de Planicies	52.46
	Herbazal Rastrero Altoandino Húmedo de Planicies	
	Herbazal Rastrero Andino Húmedo de Colinas y Montañas	
	Herbazal Rastrero Andino Húmedo de Planicies	

FUENTE: Elaboración propia

Según el mapa de cobertura vegetal elaborado por el MINAM (Anexo 4), en el área del proyecto se encuentra diferentes unidades de cobertura vegetal, así mismo en la Tabla 7 se presenta las diferentes unidades de cobertura vegetal, indicando la superficie y el porcentaje de cada una de ellas.

**Tabla 7: Cobertura Vegetal del Área del Proyecto Shulluqocha**

Descripción	Símbolo
Agricultura costera y andina	
Pajonal andino	

FUENTE: elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el tipo de cobertura vegetal propia de la zona de intervención en la localidad de Shulloqocha.



**Figura 8: Cobertura vegetal propia de la zona de estudio**

#### **4.4. ETAPA 3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA ZANJA DE INFILTRACIÓN**

Se ha constatado que la micro captación de agua lluvia aumenta la humedad disponible de agua para las plantas, incluso en algunos casos permitiendo el desarrollo de actividad piscícola. Hay varias técnicas de captación de aguas lluvias (Pizarro et al., 2008). La mayoría de estas obras de captación permiten mejorar la disponibilidad de agua en los sistemas tradicionales, pero en su diseño no requiere gran volumen de información y su costo de construcción es menor.

Para la regionalización hidrológica, el número de estaciones en la cuenca funcionando en la actualidad no es suficiente, desde un punto de vista global. La cuenca del río Fortaleza (subcuenca del río Huayllacayan) está controlada, con 4 estaciones meteorológicas, no obstante, este grupo presenta un coeficiente de correlación moderado debido principalmente a que las estaciones se sitúan a gran distancia unas de otras y a ambos márgenes del río Fortaleza y cuencas vecinas, por lo tanto, la influencia de la cordillera de los Andes es más acentuada en unas estaciones que en otras. A pesar de ello, el coeficiente de correlación se

considera suficiente para seguir con la metodología y establecer estaciones virtuales en esta zona dada la escasez de datos.

Las zanjas de infiltración que se construyeron (19000 ml) permitirán captar para una máxima intensidad de precipitación (10.02 mm/hr), un volumen de aproximado de 2565 m<sup>3</sup> como se muestra en la Tabla 8, asimismo permitirá un mayor control de la erosión. La capacidad de captación de agua de las zanjas debe permitir el almacenaje de un determinado volumen de escorrentía producido por la lluvia. En el diseño hidrológico propuesto de zanjas de infiltración se deben considerar previamente cuatro conceptos hidrológicos; el período de retorno, las curvas intensidad-duración-frecuencia, la velocidad de infiltración de los suelos y el coeficiente de escorrentía, para así diseñar las obras que favorecen la infiltración de aguas lluvias en condiciones desfavorables (Pizarro et al., 2004b).

**Tabla 8: Meta planteada y volumen de almacenamiento en las zanjas de infiltración para la intensidad máxima de precipitación de la zona**

N°	Lugar de intervención	Prácticas de siembra y cosecha de Agua	Metas planteadas (ml)	Volumen de almacenamiento de las zanjas infiltración. (m <sup>3</sup> )
01	Shulluqocha	Zanjas de Infiltración	19,000	2,565

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.4.1. Selección del Período de retorno

Uno de los primeros requerimientos a considerar es la determinación del período de retorno (T), el cual es definido como el tiempo que transcurre entre dos fenómenos de las mismas características, el cual se define por la siguiente ecuación.

$$T = \frac{1}{1 - F(X)}$$

Donde:

F(X): Función de distribución de probabilidad.

T: Periodo de retorno

Con el conocimiento de la función de distribución de probabilidad, es posible tener un horizonte probabilístico de planificación, dentro del cual no debería, teóricamente, presentarse un evento con precipitaciones superiores a la calculada (Pizarro y Novoa, 1986). En este contexto, uno de los primeros requerimientos a considerar es la determinación del periodo de retorno (T), el que se define como el tiempo que transcurre entre dos fenómenos de las mismas características. Con esto, es posible tener un horizonte de planificación, dentro del cual no debería presentarse un evento con precipitaciones superiores a la calculada (Pizarro y Novoa, 1986).

El Tiempo de retorno considerado en el proyecto es de 20 años, el cual se justificó estimando el “tiempo de vida de una zanja de tierra con un mantenimiento regular”; la razón también se fundamenta en que, a mayor tiempo de retorno, mayor es la probabilidad de precipitaciones altas y por lo tanto se reduce la distancia entre las zanjas; otorgando la seguridad de almacenar toda el agua de la zona de impluvio y por lo tanto se reduce el espaciamiento entre las zanjas o se incrementa las características hidráulicas de las mismas.

#### **4.4.2. Análisis estadístico de frecuencia**

Un sistema hidrológico es afectado eventualmente por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes, etc. La magnitud de este evento extremo está relacionada con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidades. Esto implica efectuar el ajuste de varias distribuciones teóricas a una determinada muestra, para comparar y concluir cuál de ellas se aproxima mejor a la distribución empírica.

##### **a. Leyes de distribución de máximas avenidas**

Las distribuciones teóricas más utilizadas para el análisis de máximas avenidas son:

- Gumbel (Método de momentos)
- Weibull (Método de momentos)
- Log-Normal (Máxima verisimilitud)
- Gamma (Método de momentos)
- Pearson Tipo III (Método de momentos)
- Log-Pearson Tipo III (Método de momentos).

#### 4.4.3. Ajustes a la función de Gumbell (método de momentos)

Se plantea para el presente estudio la utilización de la ley de distribución de Gumbel (Método de Momentos) dado que ella ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste, a valores máximos de precipitaciones máximas en 24 horas, para distintos períodos de tiempo.

$$F(X) = P(\mathcal{E} \leq X) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$$

Con  $-\infty \leq x \leq \infty$

Donde:

X = Valor a asumir por la variable aleatoria.

d,  $\mu$  = Parámetros de la función.

e = Base de los logaritmos neperianos.

Despejando x de la ecuación anterior,  $F(X)$  se tiene:

$$X = \mu - \frac{\ln(F(X))}{d}$$

Para la determinación de los parámetros d y  $\mu$ , se utilizan las siguientes expresiones:

$$\mu = x - 0,450047 * S$$

$$\frac{1}{d} = 0,779696 * S$$

Donde:

x: Media aritmética de la serie de datos considerados.

S: Desviación típica de la muestra de datos considerados.

Los valores 0,450047 y 0,779696, son válidos para un número de cincuenta datos. Sin embargo, Heras (s/a), los señala como admisibles para cualquier tamaño de población, en virtud de la escasa relevancia que poseen. Luego, es posible determinar la función de Gumbel.

El criterio de comparación que se utilizó es el Criterio de Información Bayesiano (BIC) y el Criterio de Información de Akaike (AIC). Se entiende por bondad de ajuste, la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida. A través de ésta es posible interpolar y extrapolar información. A continuación se presenta la Tabla 9 de datos de precipitación anual máxima correspondiente al período (1995-2018) para la estación Mayorarca.

**Tabla 9: Datos de precipitación máximas de 1995 – 2018**

Nº	AÑO	PP max
1	1995	35.00
2	1996	21.00
3	1997	10.60
4	1998	17.00
5	1999	10.50
6	2000	12.30
7	2001	10.90
8	2002	10.00
9	2003	18.30
10	2004	13.90
11	2005	14.60
12	2006	18.10
13	2007	15.70
14	2008	13.10
15	2009	18.20
16	2010	16.40
17	2011	13.80
18	2012	15.20
19	2013	17.40
20	2014	21.00
21	2015	25.60
22	2016	18.70
23	2017	23.90
24	2018	19.70
<b>Número de registros</b>		<b>24</b>
<b>Promedio</b>		<b>29.96</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>5.63</b>

FUENTE: Elaboración propia

Con los datos de precipitación anual máxima analizados, correspondientes al periodo de 1995 - 2018 de la estación Mayorarca se elaboró la Tabla 10 utilizando el método de Gumbel para obtener los valores  $\mu y$  y  $\sigma y$ ; para lo cual se utilizó las siguientes ecuaciones.

$$\alpha = \sigma y / S$$

$$\beta = X - (\mu y / \alpha)$$

**Tabla 10: Método de Gumbel Valores de  $\mu y$  y  $\sigma y$**

<b>n</b>	<b><math>\mu y</math></b>	<b><math>\sigma y</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\mu y</math></b>	<b><math>\sigma y</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\mu y</math></b>	<b><math>\sigma y</math></b>
2	0.4286	0.6435	9	0.4952	0.9497	16	0.5181	1.0411
3	0.4458	0.7315	10	0.4996	0.9676	17	0.5202	1.0493
4	0.4558	0.7928	11	0.5035	0.9833	18	0.522	1.0566
5	0.469	0.8388	12	0.507	0.9972	19	0.5236	1.0628
6	0.4774	0.8749	13	0.51	1.0095	20	0.5252	1.0696
7	0.4843	0.9043	14	0.5128	1.0206	21	0.5268	1.0754
8	0.4902	0.9288	15	0.5157	1.0316	22	0.5283	1.0811

FUENTE: Elaboración propia

A continuación en la Tabla 11 se presentan los parámetros determinados para la intensidad máxima y para un periodo de 20 años

**Tabla 11: Parámetros determinado para intensidad máxima para un periodo de retorno de 20 años**

<b><math>\mu y</math></b>	0.5283
<b><math>\sigma y</math></b>	1.0811
<b>En donde</b>	
<b><math>\alpha</math></b>	0.19
<b><math>\beta</math></b>	27.21
<b>T</b>	20

FUENTE: Elaboración Propia

#### 4.4.4. Construcción de las curvas IDF

La construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio (1997) existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

Para la elaboración de las ecuaciones matemáticas y con el fin de representar la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones, se optó por la expresión propuesta por Bernard (1932) y validada por Aparicio (1997), definida de la siguiente manera.

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/h)

T = período de retorno (años)

t = duración (min)

k, m, n = parámetros a estimar a través de un análisis de regresión lineal múltiple.

Aparicio (1997) señala que esta expresión permite generar las curvas IDF través de un modelo de regresión lineal, pudiéndose extrapolar la ecuación generada, a zonas que carecen de registros pluviográficos y que se encuentran relativamente cerca.

A continuación, en la Tabla 12 se presenta los resultados de las intensidades máximas (mm/hr) para las duraciones de 5, 10, 15, 30,45 y 60 min y para los periodos de retorno 2, 5, 10, 15 y 20 años.

**Tabla 12: Cálculo de Intensidades máximas (mm/hr) según el periodo y duración estimado**

Duración (min)	Intensidades máximas (mm/h)					
	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min
<b>Periodo de retorno (años)</b>						
2	21.32	16.40	14.49	9.57	7.84	6.83
5	25.65	19.73	17.43	11.51	9.43	8.22
10	28.51	21.93	19.37	12.79	10.48	9.14
15	30.12	23.17	20.47	13.52	11.07	9.65
20	31.25	24.04	21.24	14.02	11.49	10.02

FUENTE: Elaboración propia

Para obtener una expresión con la forma de un modelo de regresión lineal múltiple, se aplicaron logaritmos a la ecuación anterior, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Log } I = \text{Log } K + m \text{ Log } T - n \text{ Log } t$$

O de otra manera:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$$

Donde:

$$Y = \text{Log } I \quad a_0 = \text{Log } K$$

$$X_1 = \text{Log } T \quad a_1 = m$$

$$X_2 = \text{Log } t \quad a_2 = -n$$

Observando la Tabla 12, se puede ver que la intensidad máxima de lluvia para un periodo de retorno de 20 años y una duración de lluvia de 60 min es de 10.02 mm / hr.

A partir de la Tabla 12 se construye la curva de duración, intensidad y frecuencia (IDF) como se muestra en la Figura 9.

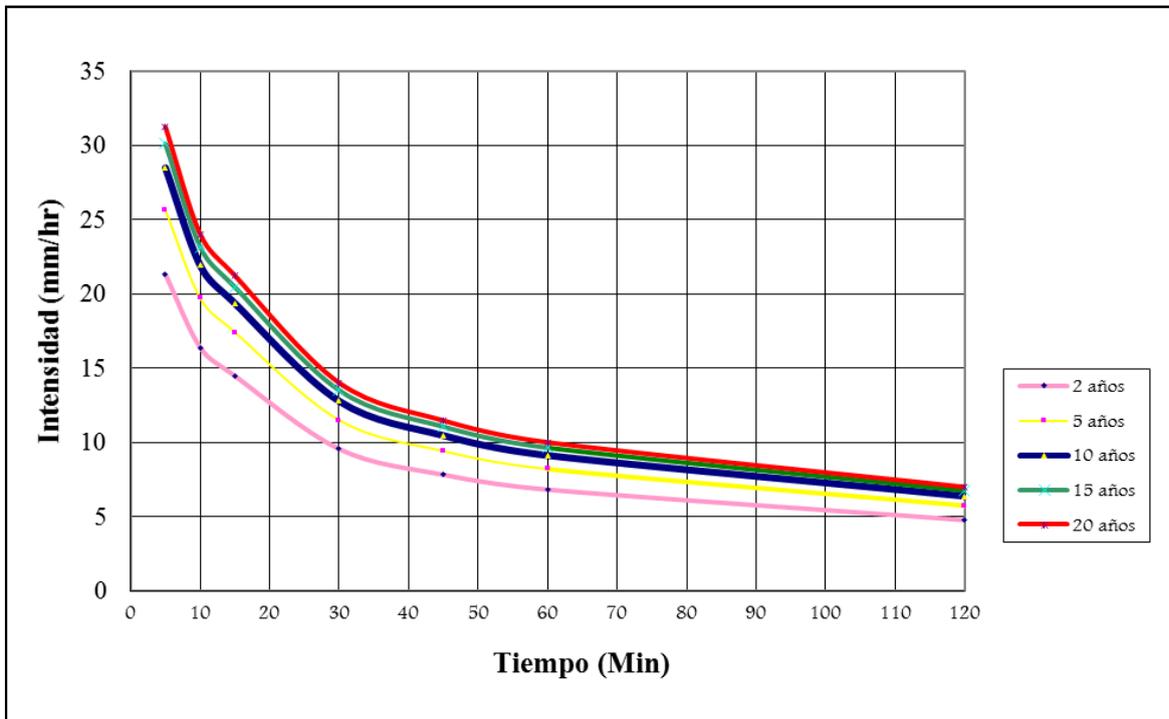


Figura 9: Curva de Duración, intensidad y frecuencia (IDF) – estación Mayorarca

#### 4.4.5. Coeficiente de escorrentía

Este método se aplica cuando no se dispone de datos suficientes para determinar la lluvia neta. El coeficiente se determina en función de las características de la cuenca. En el caso de que las características de la cuenca difieran, es decir que la cuenca tenga, por ejemplo, varios tipos de suelos o vegetación, se realizará una media ponderada de los distintos coeficientes de escorrentía en función de las áreas que ocupen cada zona. A continuación, se presenta la Tabla 13 que sirve para el cálculo del coeficiente de escorrentía.

**Tabla 13: Coeficiente de escorrentía**

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente				
		>50%	20-50 %	5-20%	1-5%	0-1%
<b>Sin Vegetación</b>	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
<b>Cultivos</b>	Impermeable	0.70	0.55	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
<b>Pastos, Vegetación ligera</b>	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
<b>Hierba, Grama</b>	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
<b>Bosque, Densa Vegetación.</b>	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

FUENTE: Benitez (1980)

El coeficiente de escorrentía determinado para la zona es de 0.50 para un suelo franco arenoso (determinado por análisis de suelo), con una textura, semipermeable al paso del agua para una cobertura de pastos con vegetación ligera en la zona donde se construyeron las zanjas de infiltración y las pendientes del terreno eran mayores al 30%.

#### 4.4.6. Velocidad de infiltración

Conceptualmente, la velocidad de infiltración determina la cantidad de agua que se infiltra a través de un medio poroso no saturado, por una unidad de tiempo. Existen diversos métodos para la determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, entre los

cuales están:

- Cilindros infiltrómetros.
- Surcos infiltrómetros.
- Método de represa o poceta.

Independiente de la utilidad práctica de cada uno de ellos, el método de cilindros infiltrómetros es el más utilizado, ya que requiere de menor equipo y materiales, y son más fáciles de instalar y operar. En el Anexo 5 se muestra los resultados promedios de las prueba de infiltración realizada en la localidad de Shulluqocha y en la Tabla 14 se muestra los datos de la velocidad de infiltración promedio.

**Tabla 14: Velocidad de infiltración promedio en la localidad de Shulluqocha**

Velocidad de Infiltración	
mm/hr	43.14
cm/hr	4.314

FUENTE: Elaboración propia

#### **4.4.7. Diseño de las zanjas de infiltración**

Según Pizarro et al. (2004), el principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración, corresponde a que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de captación, debe ser menor o igual a la que capta e infiltra la zanja. Es decir, la capacidad de ésta no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

El diseño plantea que frente a eventos extremos debe cumplirse la condición de que estas obras no deben ser sobrepasadas por el agua de escorrentía que generan los eventos extremos.

Las características geométricas de las zanjas de infiltración que se construyeron fueron, el fondo de la zanja fue a nivel una profundidad de 30 cm, 40 cm de ancho en la base y 50 cm de ancho en el borde superior de la zanja, mientras que, éstas tienen un largo “L” variable. A lo largo de cada una de ellas se construyeron unos pequeños tabiques cada 10 a 20 m a fin

de prevenir algunos errores acabados en la pendiente del fondo de la zanja y también para permitir una mejor distribución uniforme del agua captada. El diseño considera también un ligero rebaje en el borde aguas arriba de la zanja para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes, la ecuación de balance hidrológico queda como sigue:

$$V_{azi} \leq V_{azz} + V_{azin}$$

Donde:

$V_{azi}$  : Volumen de aportación zona de la zona de impluvio m<sup>3</sup>.

$V_{azz}$  : Volumen de captación de las zanjas (m<sup>3</sup>).

$V_{azin}$ : Volumen de infiltración (m<sup>3</sup>).

Efectuado una comprobación de la ecuación antes mencionada.

- En primer lugar,  $V_{azi}$  (volumen de aportación d de la zona de impluvio) corresponde al volumen de aportación de la zona de impluvio en m<sup>3</sup>; la expresión que define cada una de las variables es la siguiente:

$$V_{azi} = I * S * E$$

Donde :

I : Intensidad máxima de precipitación para el diseño de una obra (mm/hr).

S : Área de impluvio (m<sup>2</sup>).

E : Coeficiente de escorrentía.

**Tabla 15: Volumen de impluvio**

I (mm/hr)	10.02
S (m <sup>2</sup> )	570000
E	0.50
<b>V azi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2855.7</b>

FUENTE: Elaboración Propia

- Un segundo elemento, es determinar el volumen de captación de las zanjas de infiltración ( $V_{azz}$ ), expresado en  $m^3$ , el cual se extiende a una hora para hacer coincidir las unidades; que matemáticamente, por su configuración geométrica, se estructura de la siguiente forma:

$$V_{azz} = \left(\frac{b + B}{2}\right) * h * L$$

Donde:

- b : Base de la zanja (m)
- B : Ancho del Borde superior de la zanja (m)
- h : Altura efectiva de la zanja (m)
- L : Largo de la zanja (m)

**Tabla 16: volumen de captación de las zanjas**

Volumen de captación de las zanjas	
b (m)	0.40
B (m)	0.50
h (m)	0.30
L (m)	19000
<b>V azz (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2565</b>

FUENTE: Elaboración Propia

- Finalmente, un tercer elemento a considerar, es el volumen de infiltración de agua ( $m^3$ ), quedando definido por la base y el largo de la zanja, y la velocidad de infiltración del agua en el suelo.
- Este último componente variará principalmente según la textura del suelo, la materia orgánica existente, la pendiente y la vegetación presente en el terreno, por lo que se recomienda medir la infiltración de forma uniforme y representativa de la unidad territorial de conservación y aprovechamiento de las aguas lluvias.

$$V_{azin} = b * v * L$$

Donde

- $V_{azin}$  : Volumen de infiltración (m<sup>3</sup>/hr).  
 b : Ancho de la Base de la zanja (m).  
 v : Tasa de Velocidad de infiltración de la zanja (mm/h).  
 L : Largo de la zanja (m).

**Tabla 17: Volumen de infiltración**

Volumen de infiltración.	
b (m)	0.40
v (m/hr)	0.04
L (m)	19000
<b>V azin (m<sup>3</sup>)</b>	<b>304</b>

FUENTE: Elaboración Propia

#### 4.4.8. Distanciamiento entre zanjas

El distanciamiento horizontal entre zanjas está en función de la pendiente como se muestra en Tabla 18. Cabe señalar, que este distanciamiento es horizontal, por lo que debe ser corregido en función de la pendiente.

**Tabla 18: Distanciamiento entre zanjas**

Cobertura vegetal	Pendiente del terreno (%)	Distancia entre zanjas (m)
Sin	10	30
	15	20
	20	15
	25	13
	30	11
Con	10	45
	15	30
	20	23
	25	20
	30	17
	35	14
	40	12

FUENTE: Cartilla para la conservación de suelos, AGRORURAL – 2014

#### 4.4.9. Resultado del diseño de zanjas de infiltración

De acuerdo a la Tabla 19 que muestra los resultados del cálculo de balance hidrológico, se cumple el principio fundamental, que a la hora de diseñar las zanjas de infiltración en Shulluqocha con las características geométricas 0.4 m ancho de la base, 0.3 m de alto y 0.5m ancho de borde superior de la zanja. La cantidad de agua de lluvia escurrid es menor que volumen de agua de las zanjas y al volumen infiltrado de la misma.

**Tabla 19: Calculo del balance hidrológico**

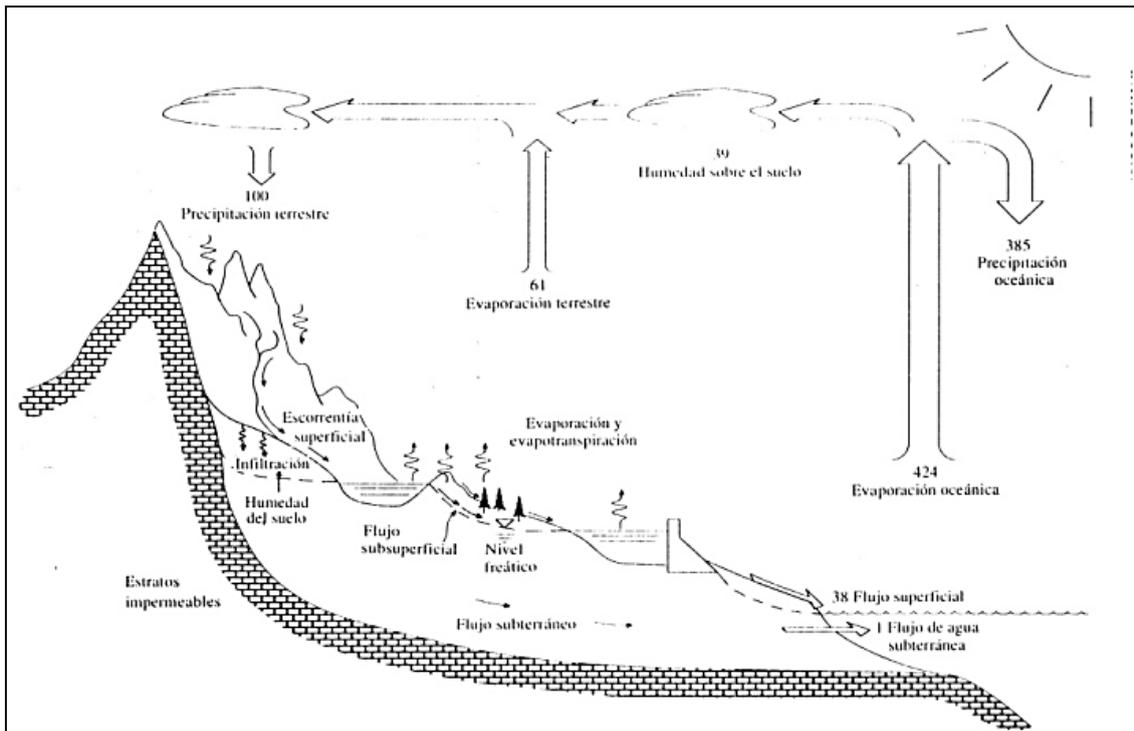
CÁLCULOS	DATO	UNIDAD
Volumen Precipitado	2855.7	m <sup>3</sup>
Volumen Infiltrado	304	m <sup>3</sup>
Volumen de las zanjas	2565.00	m <sup>3</sup>
<b>Volumen Precipitado &lt; Volumen de Zanjas + Volumen Infiltrado</b>		

FUENTE: Elaboración propio

Es decir en base al cálculo del balance hidrológico como se muestra en la Tabla 19 para la construcción de zanjas de infiltración en la localidad de Shulluqocha, el volumen precipitado es menor que al volumen de las zanjas y al volumen infiltrado. Por lo cual se puede satisfacer las condiciones para captar aguas de lluvia y reducir la escorrentía superficial en la zona del proyecto.

#### 4.4.10. Recarga hídrica promedio para las fuentes de agua

Con la construcción de zanjas de infiltración en Shulluqocha en 57 hectáreas, con un promedio de 554 mm de precipitación anual y una precipitación para los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre y un coeficiente de escorrentía de 0.5, se espera aportar aproximadamente un volumen de infiltración de 131210.8 m<sup>3</sup>/año para alimentar a las diferentes fuentes de agua y consecuente se producirá la regeneración del ciclo hidrológico (Santa Cruz Y, *et al*, 2008). Como se muestra en la Figura 10, mejorando la disponibilidad de agua en la zona y reducir el efecto devastador de los eventos hidrológicos extremos: sequías e inundaciones.



**Figura 10: Aportación de volumen de infiltración a las diferentes fuentes de agua**

FUENTE: Esquema general del ciclo hidrológico según Chow et al. (1994)

En la siguiente tabla se muestra el análisis en los meses de mayor precipitación (octubre-marzo). Donde se evalúa el volumen de agua aproximada de agua infiltrada que aportara a las diferentes fuentes de agua en la localidad de Shulluqocha. En los meses de estiaje no se evalúa porque las lluvias son relativas insignificante no generan escorrentía y tampoco genera infiltración.

**Tabla 20: Análisis del volumen mensual de agua captado e infiltrado por las zanjas de infiltración y el volumen perdido por evaporación**

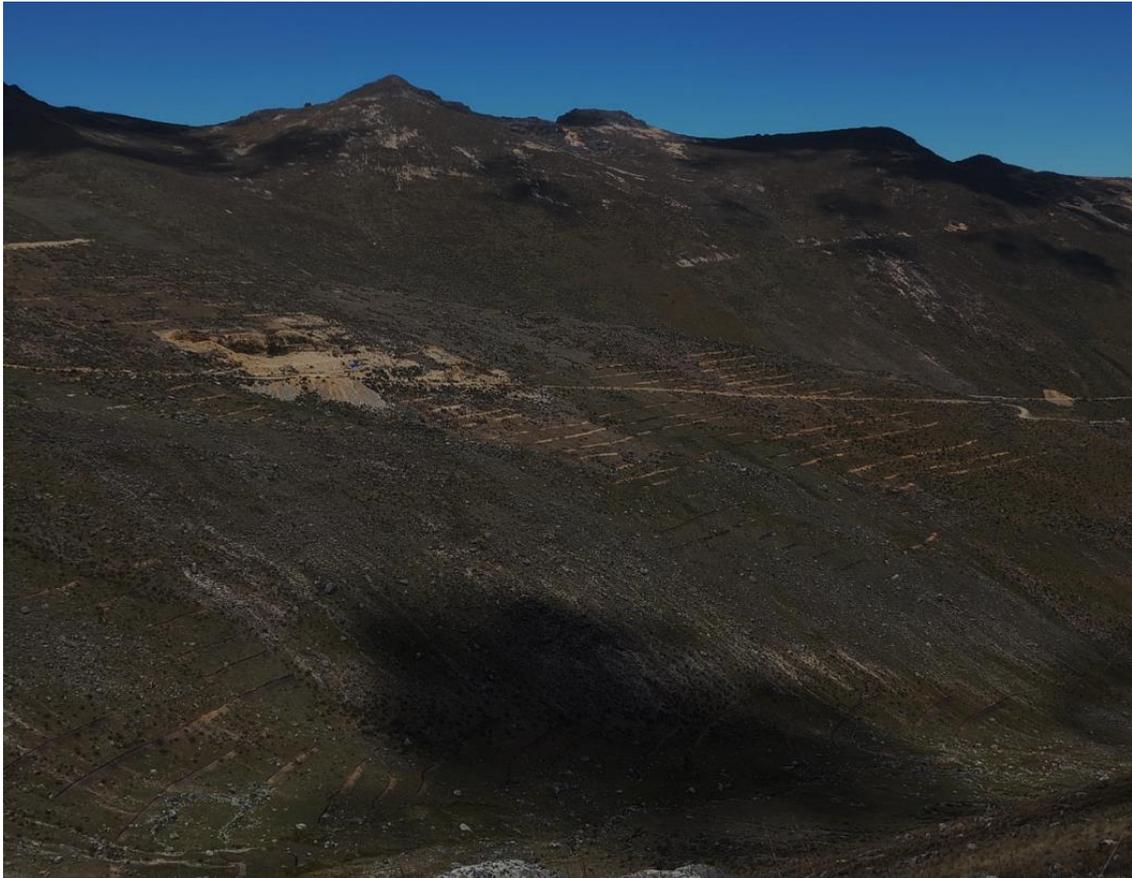
Meses de mayor precipitación	Precipitación acumulada (mm)	Evaporación acumulada (mm)	Volumen de escorrentía en el área de impluvio (m3)	Volumen captado por las zanjas de infiltración (m3)	Volumen perdido por evaporación (m3)	Volumen de agua infiltrado (m3)
Enero	92.34	111.9	52633.8	26316.9	1063.05	25253.85
Febrero	114.96	106.2	65527.2	32763.6	1092.12	31671.48
Marzo	150.47	107	85767.9	42883.95	1429.47	41454.48
Octubre	29.30	113.7	16701	8350.5	1080.15	7270.35
Noviembre	31.98	130.4	18228.6	9114.3	1238.8	7875.5
Diciembre	66.37	129.5	37830.9	18915.45	1230.25	17685.2
<b>Total</b>	<b>485.42</b>	<b>698.7</b>	<b>276689.4</b>	<b>138344.7</b>	<b>7133.84</b>	<b>131210.8</b>

FUENTE: Elaboración propia

### Partes de las zanjas de infiltración

Se describen a continuación los elementos de la zanja de infiltración.

- **Zanja:** Es una estructura hidráulica sin pendiente de forma trapezoidal o rectangular según el tipo de suelo. Para nuestro proyecto se ha usado el tipo trapezoidal y cuyas dimensiones son: 0.40 x 0.50 x 0.30 m.



**Figura 11: Vista panorámica de zanjas de infiltración en ladera izquierda**

- **Área de Impluvio:** Es el área que recibe la lluvia caída donde se genera la escorrentía, la cual es captada por las zanjas de infiltración. El espaciamiento entre zanjas varía fundamentalmente en función de la pendiente del terreno, el tipo de suelo y la intensidad máxima de precipitación. El área de impluvio del proyecto es de 57 ha.
- **Tabique:** son pequeñas estructura de un espesor que varía entre 10 a 30 cm que se construye a lo largo de la zanjas con una separación entre ellas de 10 a 20 m según

las condiciones propias del terreno, cuya finalidad es prevenir algún error en la pendiente del fondo de las zanjas, y lograr una mejor distribución del agua infiltrada en ladera. Para nuestro proyecto se ha usado un tabique con un espesor de 0.10 a 0.30 m según las condiciones del terreno. Para el presente caso se presentó un suelo franco a franco arenoso.



**Figura 12: Construcción de tabique**

- **Caminos:** También son separaciones al igual que los tabiques, pero de mayor grosor de 1 a 1.5 m y su función es la de dar paso al tránsito de las personas y los animales de pastoreo, estas no son convexas hacia la superficie si no planas al nivel de la superficie del suelo. Para el presente proyecto se ha planteado caminos de 1 m. de ancho. También se prevé algunos caminos para el tránsito de personas y animales con el fin que no se malogre las zanjas

#### **4.5. ETAPA 4: CONSTRUCCIÓN DE ZANJA DE INFILTRACIÓN**

En esta etapa se construyó 19000 ml de zanjas de infiltración para actividades de siembra y cosecha de agua con longitud variable determinado las dimensiones (bxBxh) y el espaciamiento (d) adecuado entre zanjas de infiltración, en el Anexo 6 se muestra en panel fotográfico de todas las actividades realizadas en la construcción de zanjas de infiltración. Se procede a su construcción de la siguiente manera:

- a. Se trazó las líneas a nivel con ayuda del nivel A como se muestra en la Figura 13, empezando siempre de la parte más alta de la ladera hacia abajo. Las líneas se demarcan con ayuda de estacas cada 2 metros de acuerdo a la longitud de separación de la patas del nivel A con la participación de la población local.



**Figura 13: Distanciamiento de zanjas de infiltración en la ladera de Shulluqocha**

- b. Se excava con mano de obra la zanja de infiltración con el fondo plano, teniendo en cuenta las dimensiones indicadas anteriormente es decir ancho de la base 40 cm, ancho de borde superior 50 cm y una altura efectiva de 30 cm. La excavación de estas zanjas se hizo en forma manual en decir con mano de obra local, lo cual tiene ventajas y desventajas, relacionados con la calidad y el avance de ejecución. El avance de ejecución y la calidad de la zanja dependerán de las características del suelo (humedad, profundidad y presencia de piedras) y el rendimiento del trabajador. En la Figura 14 se muestra una zanja acabada donde se puede ver sus características hidráulicas.



**Figura 14: Bordo inferior de la zanja de infiltración**

- c. Todo el material extraído de la excavación de la zanja se coloca en su borde inferior apisonado capa por capa formando un bordo o camellón como se muestra en la Figura 15 y esto permite una mayor capacidad de almacenamiento de agua.



**Figura 15: Material apisonado formando un bordo**

- d. Para minimizar los riesgos de desborde de las zanjas, cuando estas son muy largas, se construyen tabiques a lo largo de la zanja cada 10 a 20 metros como mínimo. Los tabiques están constituidos del material original como se muestra en la Figura 16 y tendrán un ancho entre 0.10 a 0.30 m. Así la zanja queda dividida en numerosas secciones que almacenan el agua de escorrentía facilitando al máximo la infiltración del agua, evitando la erosión y el transporte de sedimentos y logrando una mejor

distribución del agua infiltrada.



**Figura 16: Elaboración de tabiques de la zanja**

#### **4.6. RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten un volumen de agua captado en por lo menos 131210.8 m<sup>3</sup> aproximadamente con lo cual se mejorara la disponibilidad de agua y la productividad agrícola de la zona en el distrito de Huayllacayan, jurisdicción de la provincia de Bolognesi, ubicada en el departamento de Áncash.

La ejecución del proyecto de zanjias de infiltración permite incrementar la disponibilidad hídrica mediante la siembra y cosecha de agua lluvia en la zona de proyecto, mejorando la oferta hídrica en la zona de proyecto con una mayor disponibilidad de agua proveniente de

la captación e infiltración de las aguas de lluvia y una disminución de la erosión hídrica. Este tipo de trabajos es muy importantes su ejecución pues permite captar el agua de lluvia que escurre por las laderas, generando erosión de los suelos y con su ejecución se permite su infiltración y mejorar la disponibilidad de agua de las zonas especialmente en épocas de estiajes. En síntesis se puede afirmar que este tipo de trabajos permite:

- Reducción de la escorrentía superficial y al mismo tiempo controlando la pérdida de los suelos por erosión.
- Incremento de la infiltración de agua y mejora de la regulación hídrica.
- Mantenimiento y recuperación de pastizales naturales y de especies arbóreas, además de su capacidad de reducción de la escorrentía.
- Regeneración de la biodiversidad propia de la zona y mejoramiento de la belleza paisajística de la zona.
- Aumentar la disponibilidad del recurso hídrico especialmente en épocas de estiaje
- Beneficios socioculturales; donde fortalecen el trabajo comunitario y mayor cohesión social.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El dimensionamiento de las zanjas de infiltración para la zona del proyecto, cuyas laderas tiene una pendiente variada entre 30 a 40% fueron las siguientes dimensiones: ancho del borde superior de la zanja (B) 0.50 m, ancho de la base de la zanja (b) 0.40 m, altura efectiva (h) 0.30 m, fondo de las zanjas sin pendientes y el espaciamiento entre zanjas en promedio fue 14 metros y el espaciamiento entre tabiques a lo largo de cada zanja de infiltración varió entre 10 a 20 m.
- La precipitación promedio anual en la zona de trabajo es 554.97 mm siendo los meses de mayor precipitación a partir del mes de octubre y se prolonga hasta marzo.
- La tasa de precipitación máxima obtenida para la zona fue de 10.02 mm/hr para una frecuencia de 20 años.
- El coeficiente de escorrentía estimado para la zona de Shulluqocha se estimó en forma muy conservadora en 0.50
- La velocidad de infiltración promedio en la zona fue de 43.14 mm/hr, teniéndose en algunas zonas tasas aún mayores.
- Para la lluvia de mayor intensidad (10.02 mm/hr), el volumen de aportación de la zona de impluvio y que es captada por las 19000 ml de zanjas de infiltración es de 2855.7 m<sup>3</sup>, cuyo valor es menor al volumen de captación en la zanja más el volumen de infiltración de la misma, el cual tiene un valor de 2869 m<sup>3</sup>, con lo que se concluye que cumple la condición del principio fundamental es decir las zanjas no serán desbordadas por exceso de agua.
- El volumen de infiltración anual que aportarían anualmente las zanjas de infiltración construidas en la localidad de Shulluqocha es de unos 131210.8 m<sup>3</sup> y que alimentarían a las diferentes fuentes de agua existentes en la zona.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En base a los resultados del estudio hidrológico, se recomienda dimensionar las obras proyectadas con el volumen de escurrimiento y las condiciones topográficas y las características de los suelos de las propias zonas.
- Para que la infiltración en las zanjas construidas sea eficiente se recomienda una limpieza anual de las zanjas de infiltración por parte de la población beneficiaria, antes de la época de lluvias.
- Se recomienda continuar con este tipo de trabajos de siembra y cosecha de agua de lluvia en las laderas de las zonas alto andinas, porque ayudan a mejorar el gran problema de escasez de agua en épocas de estiaje y a disminuir la erosión de los suelos.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad nacional del Agua (ANA). (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Pativilca. Lima, Perú. 141 – 169 pp.
- Aparicio, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Ed. Limusa, Balderas. 303 pp.
- Benítez, C.; Arias, W.; Quiroz, J. (1980). Manual de conservación de suelos y aguas. Lima, Perú: Ministerio de agricultura y alimentación.
- AGRORURAL. (2014). Cartilla para la conservación del suelo. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/zanjas-infiltracion.pdf>.
- Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Editorial Mc Graw Hill. p. 3.
- Pizarro, R.; Novoa, P. (1986). Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. In Elementos técnicos de hidrología. Coquimbo, Chile. Corporación Nacional Forestal. 78 pp.
- Pizarro, R.; Flores J.; Sangüesa, C.; Martínez, A.; García, J. (2008). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. Revista Bosque Valdivia, vol.29 No. 2, 136 – 145 pp.

Pizarro, R.; Flores, J.; Sangüesa, C.; Martínez, A.; García J. (2004b). Diseño de obras para la conservación de aguas y suelos. Talca, Chile. Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos (EIAS). 146 pp.

Santa Cruz, Y.; Ordoñez, P.; Jacobo, U.; Camiloaga, F. (2008). Cosecha de agua, una práctica ancestral: manejo sostenible de las praderas naturales. Centro de estudios y promoción de desarrollo. Perú. p. 10.

Vásquez, A.; Vásquez, I.; Vásquez, C. (2016) Cosecha del agua de lluvia y captación de nieblas en zona áridas y semiáridas y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. p. 27.

## **VII. ANEXOS**

## Anexo 1: Precipitación Mensual

 <b>PERÚ</b> Ministerio de Agricultura													
Precipitación Media Mensual Est. Mayorarca - Periodo de registro: 1970-2018.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1970	73.00	15.40	134.86	37.30	9.20	5.20	0.00	0.00	0.00	23.60	27.60	16.90	343.06
1971	37.00	89.20	152.30	43.90	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	18.70	13.00	49.50	409.80
1972	118.80	148.80	358.20	48.80	0.00	0.00	4.70	0.00	4.20	14.30	32.60	101.30	831.70
1973	196.40	59.80	136.00	38.40	17.70	0.00	4.40	4.70	17.50	28.80	8.70	77.90	590.30
1974	92.10	142.30	51.40	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.70	0.00	10.80	318.30
1975	118.20	114.10	278.90	11.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	12.30	18.50	29.20	582.70
1976	131.60	142.20	83.50	21.20	0.00	18.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.50	438.10
1977	63.70	243.40	114.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00	443.70
1978	4.20	58.90	88.50	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	1.90	18.50	176.70
1979	9.40	25.50	174.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00	0.00	23.20	274.10
1980	79.10	23.00	36.20	9.90	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	87.30	29.60	0.00	265.60
1981	61.00	194.50	73.30	41.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.30	70.50	47.60	561.70
1982	84.90	65.40	29.20	37.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.80	34.20	64.60	354.40
1983	69.20	105.60	377.20	149.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.90	89.20	834.80
1984	105.10	366.80	168.70	34.80	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	42.40	0.00	39.10	766.80
1985	0.00	138.60	104.40	24.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.90	307.30
1986	130.50	108.20	151.60	52.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.20	466.10
1987	145.80	101.70	67.30	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.50	49.50	385.00
1988	67.20	56.30	86.90	30.60	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	12.80	20.40	39.20	317.50
1989	117.90	113.00	169.40	134.90	31.30	0.00	0.00	38.10	38.30	41.90	6.60	55.20	746.60
1990	17.60	43.60	58.60	1.00	9.80	10.20	0.00	0.00	3.20	71.90	51.10	34.40	301.40
1991	23.10	53.50	114.30	11.50	21.40	0.00	0.00	0.70	0.00	45.70	24.30	30.70	325.20
1992	22.00	16.60	88.40	15.80	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	53.70	16.90	6.50	227.10
1993	41.30	154.90	276.90	219.90	11.30	0.00	0.00	0.00	9.00	99.50	94.80	234.50	1142.10
1994	209.90	147.30	219.00	87.10	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	43.70	51.90	778.00
1995	144.30	56.70	123.40	42.60	16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	23.30	55.70	63.40	525.90
1996	150.50	157.60	151.60	57.60	21.70	0.00	0.00	0.00	9.30	36.20	30.20	55.40	670.10
1997	64.10	165.10	39.90	22.70	10.10	0.00	0.00	0.00	8.70	20.50	82.50	177.70	591.30
1998	232.00	192.70	155.00	73.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	66.40	8.40	38.70	770.00
1999	119.40	252.90	122.30	48.40	38.70	15.60	3.50	0.00	12.40	41.70	68.60	85.30	808.80
2000	101.30	162.30	134.10	74.60	22.80	0.00	0.00	4.60	14.50	37.80	26.80	114.30	693.10
2001	184.10	118.30	207.20	56.20	5.70	0.00	0.00	0.00	29.70	37.90	94.70	64.80	798.60
2002	38.20	95.30	153.60	111.90	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	59.00	89.20	77.90	633.30
2003	94.70	109.40	130.30	45.20	0.30	0.00	1.20	0.00	0.10	22.70	9.40	117.70	531.00
2004	29.90	77.20	73.80	43.10	0.00	1.20	0.60	0.00	4.60	34.90	56.60	62.10	384.00
2005	67.00	46.40	98.30	15.00	2.20	0.00	0.00	1.30	0.00	6.10	17.80	87.00	341.10
2006	82.20	111.00	159.50	65.70	0.00	0.00	0.00	5.80	2.70	13.90	27.60	67.90	536.30
2007	73.60	51.20	150.30	72.20	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	22.30	10.30	24.40	418.50
2008	107.80	108.50	89.60	21.80	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	27.40	37.90	48.30	447.80
2009	108.00	150.40	150.70	57.40	1.80	0.00	0.00	1.80	0.00	61.80	65.90	52.00	649.80
2010	90.50	57.60	95.90	42.00	2.20	2.40	0.00	1.10	5.70	9.10	28.50	107.40	442.40
2011	108.40	44.00	87.70	53.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.60	35.30	111.20	441.20
2012	69.20	101.30	104.90	81.00	5.70	0.00	0.00	0.00	15.00	19.80	43.60	55.40	495.90
2013	48.00	132.60	158.90	20.80	1.00	0.00	0.70	0.00	0.00	60.70	26.80	62.80	512.30
2014	87.00	73.10	160.70	35.70	16.90	0.00	0.00	2.10	14.90	15.60	32.90	107.00	545.90
2015	94.40	80.80	255.40	132.00	55.60	9.40	0.00	4.90	1.20	28.50	114.30	233.30	1009.80
2016	55.50	215.80	202.90	88.90	11.30	0.00	0.00	0.00	8.10	6.20	0.00	89.30	678.00
2017	184.50	278.40	462.00	90.40	43.90	3.00	0.00	0.00	13.90	29.60	13.50	55.40	1174.60
2018	171.30	65.90	311.30	135.10	46.50	0.50	0.10	0.60	8.30	31.10	37.70	97.30	905.70
<b>MEDIA</b>	<b>92.34</b>	<b>114.96</b>	<b>150.47</b>	<b>52.25</b>	<b>9.39</b>	<b>1.47</b>	<b>0.31</b>	<b>1.36</b>	<b>4.76</b>	<b>29.30</b>	<b>31.98</b>	<b>66.37</b>	<b>554.97</b>

Fuente: Autoridad Nacional del Agua - SENAMHI

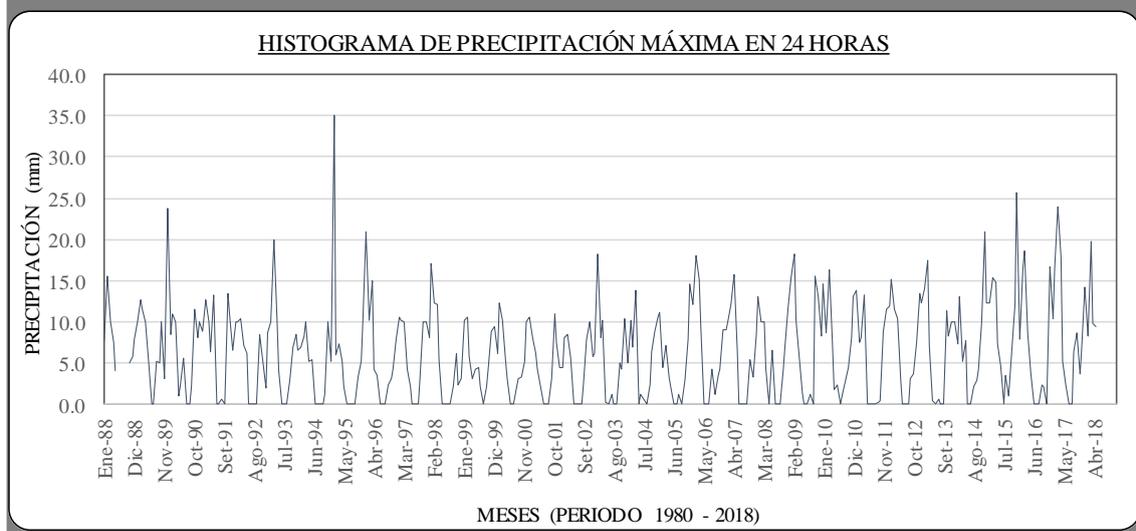
## Anexo 2: Precipitación máxima en 24 horas

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)														
Estación Meteorológica : Mayorarca														
Región:	Ancash			Prov:	Bolognesi			Codigo:	110040					
Latitud:	10° 09' 27.91"			Long:	77° 20' 56.01"			Altitud:	3335					

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁX
1988	7.7	15.6	10.0	7.5	4.1					5.0	5.9	8.0	15.6
1989	10.0	12.6	11.6	10.1	5.2	0.0	0.0	5.3	5.0	10.0	3.1	23.7	23.7
1990	8.4	10.9	10.0	1.0	2.4	5.6	0.0	0.0	2.2	11.5	8.1	10.0	11.5
1991	8.9	12.7	10.0	6.4	13.3	0.0	0.0	0.7	0.0	13.5	11.0	6.5	13.5
1992	10.0	10.0	10.4	7.2	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	5.2	2.0	10.4
1993	8.7	10.0	20.0	10.0	4.1	0.0	0.0	0.0	3.0	7.0	8.4	6.6	20.0
1994	7.0	8.3	10.0	5.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.0	5.3	10.0
1995	35.0	6.0	7.3	5.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	5.2	10.0	35.0
1996	21.0	10.2	15.0	4.2	3.5	0.0	0.0	0.0	2.3	3.2	4.2	8.0	21.0
1997	10.6	10.2	10.0	4.2	2.2	0.0	0.0	0.0	3.2	10.0	10.0	8.2	10.6
1998	17.0	12.4	12.2	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	6.2	2.3	3.2	17.0
1999	10.3	10.5	5.9	3.2	4.2	4.5	2.2	0.0	2.2	4.2	8.9	9.5	10.5
2000	6.2	12.3	10.3	5.2	3.2	0.0	0.0	2.2	3.2	3.3	5.2	10.0	12.3
2001	10.5	8.2	6.2	4.2	2.2	0.0	0.0	0.0	3.2	10.9	7.5	4.5	10.9
2002	4.4	8.2	8.4	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	8.0	10.0	5.8	10.0
2003	6.2	18.3	8.2	10.2	0.3	0.0	1.2	0.0	0.1	5.0	4.3	10.4	18.3
2004	5.0	10.2	7.0	13.9	0.0	1.2	0.6	0.0	2.3	6.3	8.9	10.5	13.9
2005	11.1	4.4	7.1	3.4	2.2	0.0	0.0	1.3	0.0	2.9	8.0	14.6	14.6
2006	12.1	18.1	15.1	9.5	0.0	0.0	0.0	4.2	1.2	3.5	4.2	9.0	18.1
2007	9.0	10.0	12.2	15.7	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	3.3	8.5	15.7
2008	13.1	10.0	10.0	4.2	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	4.3	7.0	11.8	13.1
2009	15.6	18.2	10.2	5.8	1.4	0.0	0.0	1.3	0.0	15.6	13.0	8.3	18.2
2010	14.7	8.6	16.4	7.2	1.8	2.4	0.0	1.1	2.8	4.4	8.1	13.0	16.4
2011	13.8	7.5	8.1	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	8.9	11.5	13.8
2012	11.9	15.2	11.5	10.4	2.9	0.0	0.0	0.0	3.2	3.7	7.6	13.4	15.2
2013	12.4	14.0	17.4	7.1	0.5	0.0	0.7	0.0	0.0	11.3	8.3	10.0	17.4
2014	10.0	7.3	13.0	5.2	7.8	0.0	0.0	2.1	3.0	4.3	10.0	21.0	21.0
2015	12.4	12.4	15.4	14.8	7.3	4.6	0.0	3.5	1.0	6.5	12.2	25.6	25.6
2016	8.0	16.5	18.7	8.7	3.7	0.0	0.0	0.0	2.4	2.1	0.0	16.8	18.7
2017	10.4	16.5	23.9	17.9	5.3	2.4	0.0	0.0	6.4	8.6	3.7	6.8	23.9
2018	14.3	8.3	19.7	9.9	9.5								19.7

Fuente: SENAMHI.

<b>MEDIA</b>	11.5	11.4	12.0	7.8	3.5	0.9	0.2	0.8	1.8	6.3	7.1	10.4	16.6
<b>DESV STD</b>	5.6	3.7	4.5	4.1	3.2	1.9	0.5	1.4	1.7	3.7	3.1	5.5	5.5
<b>P. MÁXIMA</b>	35.0	18.3	23.9	17.9	13.3	6.5	2.2	5.3	6.4	15.6	13.0	25.6	35.0
<b>P. MÍNIMA</b>	4.4	4.4	5.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	2.0	10.0
	7.7	8.9	8.9	5.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.6	3.8	5.0	6.7	12.9



### Anexo 3: Análisis de suelos en la localidad de Shulluqocha



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA- DEPARTAMENTO DE SUELOS LABORATORIO  
 DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### ANALISIS DE SUELOS: CARACTERIZACION

Solicitante

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUAYLLACAYAN

Departamento : ANCASH  
 Distrito : HUAYLLACAYAN  
 Referencia : H.R. 72092-031C-20

Fact.: 6599

Provincia : BOLOGNESI  
 Predio : COMUNIDAD CAMPESINA  
 Fecha : 10/03/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO3 %	M.O. %	p ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3			
1881	Muestra A, 01	4.68	0.07	0.00	3.31	5.1	61	46	28	26	Fr	7.52	1.64	0.35	0.06	0.24	0.35	2.64	2.29	30
1882	Muestra A, 02	4.35	0.06	0.00	2.62	16.7	77	73	21	6	Fr.A.	8.8	0.85	0.22	0.08	0.17	1.05	2.36	1.31	15

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

Av. La Molina s/n Campus UNALM- Telf: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



## Anexo 5: Prueba de infiltración

N° Prueba	Hora inicial	Hora final	Lectura inicial (cm)	Lectura final (cm)	Diferencia (cm)	f (cm/min)	f(mm/hr)
1	0	2	35	33	2		
2	2	4	33	31	2	0.31	183.70
3	4	6	31	30	1	0.32	191.52
4	6	8	30	29	1	0.16	98.91
5	8	10	29	28	1	0.17	101.13
6	10	12	28	27	1	0.17	103.45
7	12	14	27	26	1	0.18	105.89
8	14	16	26	25	1	0.18	108.44
9	16	18	25	24.2	0.8	0.19	111.12
10	18	20	24.2	23.4	0.8	0.15	90.91
11	20	22	23.4	22.6	0.8	0.15	92.79
12	22	24	22.2	21.4	0.8	0.24	142.87
13	24	26	21.5	20.9	0.6	0.14	85.48
14	26	28	20.9	20.3	0.6	0.12	74.59
15	28	30	20.3	19.7	0.6	0.13	75.84
16	30	32	19.7	19.2	0.5	0.13	77.14
17	32	34	19.2	18.7	0.5	0.11	65.31
18	34	36	18.7	18.2	0.5	0.11	66.28
19	36	38	18.2	17.7	0.5	0.11	67.27
20	38	40	17.7	17.2	0.5	0.11	68.29
21	40	42	17.2	16.9	0.3	0.12	69.34
22	42	44	16.9	16.6	0.3	0.07	42.12
23	44	46	16.6	16.3	0.3	0.07	42.52
24	46	48	16.3	16	0.3	0.07	42.93
25	48	50	16.0	15.7	0.3	0.07	43.34
26	50	52	15.7	15.4	0.3	0.07	43.76
27	52	54	15.4	15.2	0.2	0.07	44.19

FUENTE: Elaboración propia

## Anexo 6: Panel fotográfico



**Figura 17: Trazo de zanja de infiltración con nivel A**



**Figura 18: Trabajo de excavación de zanjas de infiltración**



**Figura 19: Zanjas de infiltración ladera izquierda**



**Figura 20: Trabajo de excavación de zanjas de infiltración**



**Figura 21: Nivelación de borde en la zanja de infiltración**



**Figura 22: Zanjas de infiltración ladera derecha**



**Figura 23: Tabique hecho con el material propio del lugar**



**Figura 24: Borde inferior con material extraído de la zanja de infiltración**



**Figura 25: Zanjas de infiltración en funcionamiento**



**Figura 26: Trabajo de excavación para la construcción de zanjas de infiltración**



**Figura 27: Supervisión al personal de campo en la construcción de zanjas**



**Figura 28: Excavación de zanjas de infiltración**



**Figura 29: Zanja de infiltración con bordo superior**



**Figura 30: Zanjas de infiltración en funcionamiento en la localidad de Shulluqocha**



**Figura 31: Suelo erosionado por la escorrentía superficial en Shulluqocha**



**Figura 32: Zanjas de infiltración en ladera izquierda**



**Figura 33: Trabajo de zanjas de infiltración en ladera derecha**



**Figura 34: Trabajo de construcción de zanjas de infiltración en ladera izquierda**