

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**



**TESIS**

**RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN FUNCIÓN DE LAS  
CARACTERÍSTICAS GEOHIDRÁULICAS PARA INCREMENTO DE  
LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL MANANTIAL COLLANA –  
CABANILLA**

**PRESENTADA POR:**

**Br. ESTHER MAMANI QUISPE**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**

**TESIS**

**RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN FUNCIÓN DE LAS  
CARACTERÍSTICAS GEOHIDRÁULICAS PARA INCREMENTO DE LA  
DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL MANANTIAL COLLANA – CABANILLA**

**PRESENTADA POR:**

**Br. ESTHER MAMANI QUISPE**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**

**APROBADO POR LOS SIGUIENTES JURADOS:**

**PRESIDENTE**

.....  
**Dr. EDUARDO FLORES CONDORI**

**PRIMER MIEMBRO**

.....  
**M.SC. OSCAR MAMANI LUQUE**

**SEGUNDO MIEMBRO**

.....  
**M.Sc. RICARDO BARDALES VASSI**

**DIRECTOR DE TESIS**

.....  
**D.SC GERMAN BELIZARIO QUISPE**

**Área: Ingeniería y Tecnología**

**Tema: Modelamiento de aguas subterráneas**

**Línea: Recursos hídricos**



**DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado fuerza y  
voluntad para lograr esta meta.

A las personas más importantes en mi  
vida, mis padres Víctor e Ysabel y a mi  
único hermano Elmer.

Y en especial al Ing. Paco Apaza  
por brindarme su apoyo  
incondicional en los momentos más  
difíciles de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por ser el centro de estudios donde me forme y por la labor que cumple en el logro de nuestra formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola el más sincero agradecimiento por los conocimientos y los valores éticos y morales emitidos a lo largo de mi vida universitaria.

Agradezco al Dr. Eduardo Flores Condori por los conocimientos compartidos, revisión y sugerencias para la culminación de este estudio.

A mis amigos y familiares que de una u otra manera me han brindado consejos e ideas importantes, los cuales se han hecho merecedores de mi estima y respeto que permanentemente les tendré respeto.

A mi Director de tesis por ser guía del presente trabajo de investigación, a los miembros del jurado de revisión por garantizar y validar el proyecto.

**CONTENIDO**

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

**CAPITULO I****PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
1.1.1. Problema general.....	5
1.1.2. Problema específicos .....	5
1.2. JUSTIFICACION.....	5
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.....	8
1.3.1. Hipotesis general.....	8
1.3.2. Hipotesis específicas.....	9
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
1.4.1. Objetivo general .....	9
1.4.2. Objetivos específicos .....	9

## CAPITULO II

## REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES .....	10
2.2. GEOLOGIA .....	11
2.2.1. Devónico .....	11
2.2.2. Grupo Cabanillas.....	12
2.2.3. Pendiente del terreno .....	12
2.3. RECARGA ARTIFICIAL .....	14
2.3.1. Sistema de recarga artificial .....	14
2.4. ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	19
2.4.1. Características del diseño de zanjas de infiltración .....	19
2.4.2. Recarga artificial mediante zanjas de infiltración .....	20
2.4.3. Principio para el diseñar las zanjas de infiltración.....	21
2.4.4. Amuna.....	22
2.5. CARACTERISTICAS GEOHIDRAULICAS .....	24
2.5.1. Escorrentía.....	24
2.5.2. Acuífero.....	25
2.5.3. Porosidad (N) .....	27
2.5.4. Poros.....	28
2.5.5. Permeabilidad (k) .....	29
2.5.6. Coeficiente de almacenamiento (s) .....	30
2.5.7. Infiltración y almacenamiento .....	31
2.5.8. Caudal.....	32

2.5.9. Manantial .....	32
2.6. CLIMATOLOGIA .....	34
2.6.1. Ciclo hidrológico .....	35
2.6.2. Precipitación.....	35
2.6.3. Análisis de precipitaciones máximas de 24 horas.....	36
2.6.4. Efectos del cambio climático .....	36
2.6.5. Siembra y cosecha de agua .....	37
2.7. DIMENSIONAMIENTO.....	37
2.7.1. Dimensión .....	37

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN GENERAL .....	39
3.1.1. Acceso y vías de comunicación.....	39
3.2. MATERIALES .....	40
3.2.1. Equipos y materiales utilizados .....	40
3.2.2. Programas utilizados.....	40
3.3. METODOLOGIA DE INVESTIGACION.....	40
3.3.1. antecedentes de la zona de estudio .....	40
3.3.2. Trabajo de campo .....	41
3.3.3. Trabajo de gabinete .....	44
3.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN.....	44
3.4.1. Ubicación de la zanja de infiltración .....	44
3.4.2. Pendiente de la zanja de infiltración. ....	45

3.4.3. Pendiente de la zona de estudio. ....	45
3.4.4. Determinación de la permeabilidad mediante software aqtesolv 4.5.....	46
3.4.5. Dimensionamiento de la zanja de infiltración.....	47
3.4.6. La base y altura de la zanja de infiltración.....	48
3.5. DISEÑO DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	49

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN DE ACUÍFEROS .....	53
4.2. DISEÑO DE ZANJA DE INFILTRACIÓN EN FUNCION A LA GEOHIDRAULICA .56	
4.2.1. Ubicación de la zanja de infiltración .....	56
4.1.2. Pendiente de la zanja de infiltración. ....	57
4.1.3. Dimensionamiento de la Longitud de la zanja .....	57
4.1.4. Distanciamiento entre zanjas.....	57
4.1.5. La base y altura de la zanja de infiltración.....	58
4.1.6. Diseño de las zanjas de infiltración .....	58
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS .....	62
ANEXO.....	64



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1:** cálculo de pendiente

**Figura 2:** curva de agotamiento manantial de chaute Huarochirí

**Figura 3:** coeficiente de almacenamiento

**Figura 4:** tipos de manantiales

**Figura 5:** Esquema de ensayos de infiltración de carga constante y carga variable.

**Figura 6:** Inyectando el agua a la tubería B).se realiza mediciones de la variación del nivel de agua, según tiempos programados para la prueba.

**Figura 7:** Pendiente de la zanja

**Figura 8:** Pendiente del terreno en la zona de estudio

**Figura 9:** longitud de la zanja

**Figura 10:** diseño de zanjas de infiltración sección transversal

**Figura 11:** diseño de zanjas de infiltración en planta

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1:** Porosidad en los distintos tipos de sedimentos y rocas.

**Tabla 2:** Vías de Acceso a la Comunidad Campesina Collana.

**Tabla 3:** aforo del manantial 01 en época de lluvia – estío

**Tabla 4:** aforo del manantial 02 en época de lluvia – estío

**Tabla 5:** aforo del manantial 03 en época de lluvia - estío

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

- ATM** : Área técnica municipal
- SENAMHI** : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- INGEMMET** : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- IGN** : Instituto Geográfico Nacional.
- CONDESAN** : Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina.
- INDECI** : Instituto Nacional De Defensa Civil.
- GIAAF** : Gestión integral del agua en agricultura familiar.
- UNESCO** : Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
- FONCODES** : Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social.
- INRENA** : Instituto Nacional de Recursos Naturales
- FAO** : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- MINAGRI** : Ministerio de Agricultura y Riego

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Recarga Artificial de Acuíferos en Función de las Características Geohidráulicas para Incremento de la Disponibilidad Hídrica en el Manantial Collana – Cabanilla”, Ubicado en el distrito de Cabanilla – región Puno, se ha desarrollado para contribuir al incremento del caudal del manantial polisurgente, por lo que, los objetivos de la investigación son: evaluar el sistema de recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para el incremento de la disponibilidad hídrica, determinar las especificaciones técnicas para el diseño de zanjas de infiltración de acuíferos que están asociados a las precipitaciones pluviales y las pruebas de infiltración destinados para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial, y dimensionar y diseñar la zanja de infiltración para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial, desarrollados en forma coherente con una metodología basada en el trabajo de campo; levantamiento topográfico, aforamiento y prueba de infiltración, y en el trabajo de gabinete, revisión bibliográfica y obtención de informaciones como; datos de precipitación, geología, elaboración - diseño de mapas y procesamiento de datos. Obteniendo como resultado; primero del ensayo de prueba de infiltración en el acuífero de interés constituida principalmente por areniscas cuarzosas donde se determinó una buena permeabilidad, por otro lado, las pendientes varían mayormente 20° a 40°. Posteriormente se procedió a dimensionar y diseñar las zanjas de infiltración en función a los datos de geología, permeabilidad, pendiente, precipitación y escorrentía se dimensionó y diseño la zanja de infiltración.

Palabra clave: Recarga artificial, zanjas de infiltración, dimensionamiento, diseño.

## ABSTRACT

The present research work called "Artificial recharge of aquifers as a function of the geohydraulic characteristics to increase the water availability in the Collana - Cabanilla spring", located in the district of Cabanilla - Puno region, has been developed to contribute to the increase of the flow of the polisurgent spring, so that the objectives of the research are: to evaluate the artificial recharge system of aquifers in function of the geohydraulic characteristics for the increase of the water availability, to determine the technical specifications for the design of trenches of infiltration of aquifers which are associated with rainfall and infiltration tests designed to increase water availability at the spring, and to size and design the infiltration trench to increase water availability at the spring, developed in a manner consistent with a methodology based on field work; surveying, testing and infiltration, and in the work of cabinet, bibliographical review and obtaining information such as; precipitation data, geology, elaboration - design of maps and data processing. Resulting in; first of the test of infiltration test in the aquifer of interest constituted mainly by quartz sandstones where a good permeability was determined, on the other hand, the slopes vary mostly 20 ° to 40 °. Subsequently we proceeded to size and design the infiltration ditches according to the data of geology, permeability, slope, precipitation and runoff was dimensioned and designed the infiltration ditch.

Key word: Artificial recharge, infiltration trenches, sizing, design

## INTRODUCCIÓN

Es oportuno señalar que la recarga artificial es una técnica de gestión de recursos hídricos extendida a nivel mundial. Que, consiste en la introducción expresa de agua al acuífero, mediante variedad de sistemas como balsas de infiltración, pozos de recarga profunda, zanjas y otros mecanismos. Estas técnicas se practican no sólo en países con escasez hídrica para aumentar el recurso disponible, como los del sur de Europa (Portugal, España, Grecia) sino que también están muy extendidas en países centro-europeos y nórdicos (Alemania, Finlandia) ya que la calidad del agua mejora a través de su paso por el subsuelo. Los beneficios del uso de agua subterránea están claramente demostrados, ya que los acuíferos funcionan como un almacenamiento de agua que, gestionados de manera eficiente, juegan un papel crucial en la conservación de los recursos hídricos especialmente en zonas de laderas (FAO, 2013).

Es importante indicar que es una práctica de muy larga historia, a veces realizada sin ser el objetivo principal que se pretendía, y en la que en actualmente se dispone de muchas experiencias. Dentro de esta óptica, la recarga artificial mediante el planteamiento del diseño de zanjas de infiltración es una técnica de que utiliza una técnica relativamente reciente, si se le considera como una actuación intencionada mediante obras determinadas como las amunas y aterrazamientos (Apaza, Arroyo, & Alencastre, 2006).

En efecto, existen antecedentes muy antiguos de una recarga artificial no intencionada o no principal, Además de almacenar el agua el acuífero lo transporta, Así obtener mucha más agua con mucho menos coste y más

aceptación por parte de la sociedad con lo que se puede evitar la construcción de costosos sistemas de distribución (Carlson, 1990).

La recarga artificial es una técnica de gestión de recursos hídricos extendida a nivel mundial. Consiste en la introducción expresa de agua al acuífero, mediante variedad de sistemas como balsas de infiltración, pozos de recarga profunda, zanjas y otros mecanismos. Estas técnicas se practican no sólo en países con escasez hídrica para aumentar el recurso disponible, como los del sur de Europa (Portugal, España, Grecia) sino que también están muy extendidas en países centro-europeos y nórdicos (Alemania, Finlandia) ya que la calidad del agua mejora a través de su paso por el subsuelo (Peña, Charca, & Condori, 2015).

La finalidad de la investigación es proponer como una alternativa de solución al déficit hídrico que se está dando en la localidad de Cabanilla en épocas de estiaje del recurso agua, para ello se determinó la permeabilidad del suelo en la zona en la que se está planteando, así también determinación de la IDF de la precipitación para el diseño adecuado de la zanja en la zona de estudio (MINAGRI, 2014).

La recarga artificial mediante zanjas de infiltración es una técnica de cosecha de agua. En el Perú fue ideado el proyecto de cosecha de agua en el año 1970 por el ingeniero agrónomo Pablo Sánchez Zevallos, idea que consiste en la arborización total de la tierra no agrícola, que es la mayoritaria, la denominó Poncho Verde y a la de construir gigantescos reservorios para conservar el agua que procede de las lluvias torrenciales y que haría posible que los campesinos tengan agua de riego todo el año la designó Cosecha del Agua (Alcántara, 2013).

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El problema de escasez del agua para los diversos usos en la zona de Cabanillas, requiere de cambios profundos vinculados a los aspectos políticos, socioeconómicos. pues existen problemas de diversa cuantía y origen, unos porque se tiene una doble impresión en el esquema mental respecto al agua en la población, uno es el urbano y el otro el rural. Sabemos este último, existe desde tiempos prehispánicos, lo que algunos estudiosos han llamado las sociedades hidráulicas el “culto del agua” pero no en el sentido, que se atribuye según las connotaciones cristianas sean católicas o protestantes, sino más bien se tenía en cuenta su escasez en algunas épocas del año y lugares y abundancia incontrolable en otros espacios y tiempos (Carlson, 1990).

Principalmente el problema ambiental de la región Puno es un tema muy relevante, ya que afecta nuestro entorno, y no solo eso, es más nosotros lo afectamos y surgen las consecuencias que podrían acabar con nuestro planeta. En consecuencia, al conocer los problemas medio ambientales buscaremos que las poblaciones en conjunto tomen conciencia sobre la problemática en relación a la contaminación ambiental sobre todo los recursos hídricos en diferentes pisos ecológicos (Peña, Charca, & Condori, 2015).

Actualmente la contaminación ambiental es uno de los problemas de primordial interés crear en las personas un conocimiento y una conciencia para la mitigación y la solución de dichos problemas que nos aqueja. Nuestro departamento de



Puno está situado al sureste del país, está constituido por una región natural de sierra y ceja de selva, por la característica de su relieve es propicio para la conformación de áreas ecológicas (Carlson, 1990).

El acceso universal al agua y saneamiento constituye un imperativo para los gobiernos en la perspectiva del cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio. Dentro de un enfoque de derechos humanos existen argumentos para demandar el acceso al agua y saneamiento, pero los mecanismos o vías para exigirlo no han sido aún bien diseñados, consideramos que producir indicadores y disponer de información que nos dé cuenta de la magnitud de este déficit, constituye el punto de partida para trabajar por el acceso universal al agua y el saneamiento, lo que a su vez contribuye a la erradicación de la pobreza y beneficia a la productividad del país (FAO, 2013).

En nuestro país, la cobertura de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento ha aumentado significativamente durante las últimas décadas, de esto nos han dado cuenta la información proveniente de los censos de población y vivienda. Sin embargo, persisten las brechas de cobertura, en especial en las zonas rurales y no se conoce con precisión la magnitud del déficit a los distintos niveles de desagregación y a nivel distrital en particular, ni la incidencia de estas carencias al interior de cada repartición subnacional (FONCODES, 2015).

Consideramos, que el caudal de producción del manantial Collana está directamente asociada a la variabilidad climática y las estaciones del año, disminuye en mayor medida en época de estiaje, por lo que, en esta época la dotación de abastecimiento del agua potable para la población localidad de Cabanilla se reduce de dos a tres horas de dotación diarias. La localidad del

distrito de Cabanillas (Área urbana) se ve afectado por el déficit hídrico en época de estíaje, ya que la localidad se abastece de agua para consumo humano del sistema de agua potable suministrada por manantial Collana (Poli-surgente), cuya capacidad es de 3 l/s (ATM- MDC., 2017). Dado al incremento de la población y el crecimiento urbano, el caudal de producción actual de dicha fuente es insuficiente principalmente en época de estío. Para el desarrollo del presente trabajo nos planteamos la siguiente interrogante:

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

- ¿De qué manera se realiza la recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuáles son especificaciones técnicas para el diseño de zanjas de infiltración de acuíferos asociados a las precipitaciones pluviales y las pruebas de infiltración destinados para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial?
- ¿Cómo dimensionar y diseñar la zanja de infiltración para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla?

## **1.2. JUSTIFICACION**

La justificación principal de las zanjas de infiltración descansa en el efecto que producen sobre la estabilización del suelo; es decir, son agentes propiciadores de almacenamiento de humedad para los vegetales, a través del almacenamiento temporal de escorrentías superficiales. debe señalarse eso sí,

que un sistema de zanjias de infiltración por sí solo, no controla totalmente el fenómeno erosivo. Además, es necesario revegetar con pastos, o forestar los espacios intermedios entre zanjias, o adoptar otras prácticas conservacionistas como la aradura, el subsolado y la siembra en contorno (Carlson, 1990).

La gestión de los recursos hídricos en las cuencas andinas de nuestro país, pasa por la captación y regulación de las aguas pluviales procedente de las escorrentías estacionales, siendo captadas en los cauces y trasladadas por las acequias a los lugares deficitarios de agua donde existan suelos y rocas permeables necesarios para la infiltración a pesar de la riqueza hídrica peruana, el agua cada vez se está convirtiendo en un recurso escaso, debido a diferentes factores como la deforestación, el mal uso del agua y el calentamiento global. se prevé que en el 2030 el Perú empezará a sentir seriamente los estragos de la falta de agua mientras tanto las ciudades siguen creciendo, la agricultura se ve potenciada con proyectos agroexportadores y la expansión industrial, prevista en los tratados de libre comercio indican una demanda de agua cada vez mayor (INRENA, 2007).

Según la FAO somos el 8° país del mundo en reservas de agua dulce (2% del planeta), sin embargo, la calidad del servicio de agua y saneamiento es muy deficiente, principalmente al interior del país; 1 de cada 5 peruanos no cuentan con acceso a agua potable, y en regiones como Huancavelica, Ucayali, Loreto, Cajamarca y Pasco, solo tiene acceso entre 51% y 60% de hogares; en la población rural únicamente 2% cuenta con servicio; además, 6 millones de peruanos no cuentan con saneamiento. Y en Lima, más de 1 millón no tiene agua potable, según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) la capital sufre escasez severa de agua por expansión demográfica, cambio climático y su ineficiente uso

(30% del agua producida no es facturada por uso clandestino y fugas en redes) (GIAAF).

La razón de esta situación se debe a la reducida inversión (de S/. 8,000 millones anuales requeridos se asigna la mitad), deficiente gestión, mala distribución, expedientes mal realizados y corrupción. El servicio nacional de agua potable y alcantarillado, además de SEDAPAL está en manos de 49 empresas públicas prestadoras de agua y saneamiento (EPS) gestionadas por municipalidades provinciales y distritales (Apaza, Arroyo, & Alencastre, 2006).

En julio pasado el ex ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Von Hesse, manifestaba que “las EPS están podridas y los recursos que administran son los peores gestionados” además que este sistema “ha fracasado desde hace 20 años”, sin embargo, no se permite al sector privado participar en provisión de estos servicios esenciales. La problemática actual es el déficit hídrico del manantial Collana Cabanilla en épocas de estío, esto debido a la variabilidad climática; los patrones de precipitación vienen altamente con intensidad irregulares, esto va afectando en la disminución de volumen de agua en el acuífero del manantial Collana, la cual es la única fuente encontrado de abastecimiento del sistema de agua potable del distrito de Cabanilla, viendo esta problemática, por lo tanto se propone la técnica de recarga artificial mediante diseño de zanjas de infiltración para incrementar la disponibilidad del agua en el acuífero del manantial Collana (Peña, Charca, & Condori, 2015).

La presente investigación se justifica, por proponer la recarga artificial mediante el diseño de zanjas de infiltración las cuales tienen como estrategia empezar con la captura de las precipitaciones en las épocas lluviosas aprovechando el

escurrimiento de agua. El diseño de las zanjas de infiltración se plantea de acuerdo a las siguientes variables características geológicas de la zona de estudio y la precipitación media en la zona de estudio. Las acciones de recarga artificial de acuíferos serán necesarias para compensar la descarga en la época de mayor escasez, siendo necesario acciones de regulación subterránea a fin de mejorar la disponibilidad hídrica. Una de las grandes ventajas que tiene las técnicas de recarga artificial, es que es fácil de practicar en cualquier tipo de formaciones geológica que sea permeable y que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua subterránea, además conseguirá mantener la humedad en el terreno, lo cual permitirá el desarrollo de una vegetación densa en las zonas aledañas a las zanjas y así se controlara el fenómeno erosivo en las laderas esto como factores secundarios (Sukia, 2009).

El presente de trabajo Servirá como base y herramienta a las autoridades locales e instituciones que gestionan los recursos hídricos plantear proyectos, que darán solución a las necesidades de la población de Cabanilla y que tendrán gran efectividad en el desarrollo con menos costo, a diferencia de las grandes y costosas obras hidráulicas que se generan con las aguas superficiales, utilizando muchos recursos y cuantioso tiempo de ejecución.

### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION**

#### **1.3.1. HIPOTESIS GENERAL**

El sistema de recarga artificial de acuíferos está en función directa de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla.

### **1.3.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS**

Las especificaciones técnicas para el diseño de zanjas de infiltración de acuíferos están asociados a las precipitaciones pluviales y las pruebas de infiltración destinados para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial.

El diseño la zanja de infiltración incrementará la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Estimar el sistema de recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las especificaciones técnicas para el diseño de zanjas de infiltración de acuíferos que están asociados a las precipitaciones pluviales y las pruebas de infiltración destinados para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial.
- Dimensionar y diseñar la zanja de infiltración para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial.

## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Según, Apaza, Arroyo, & Alencastre, (2006), el documento describe la función, objetivo y característica de las amunas, toca el tema de las características geohidráulicas, posteriormente, trabaja las características socio culturales con respecto de la cosmovisión andina de los pueblos. Finalmente, se da a conocer la importancia de revalorizar las practicas ancestrales como mecanismos de funcionamiento óptimo, cuya replica puede contribuir a desarrollar la actividad agrícola en otras comunidades, teniendo en cuenta la diversidad cultural y territorial que tiene el Perú.

Según, Peña, Charca, & Condori, (2015), indica que el presente reporte, plantea diseños técnicos adecuados de recarga artificial de acuíferos, basados en el diagnóstico hidrogeológico de tres sectores, principalmente la descripción del componente litológico de las formaciones geológicas, la morfología de la zona y la ubicación de fuentes de recarga. Los diseños de recarga artificial de acuíferos tienen dos técnicas: 1) Recarga artificial por medio de zanjas de infiltración y 2) Recarga artificial por Amunas o canales de infiltración, ambos tienen características semejantes, pero varían en cuanto a la profundidad y longitud de los canales.

Condori E. & Peña F. (2016). El presente estudio propone técnicas de recarga artificial en las rocas calizas de la Formación Socosani con el objetivo de incrementar la disponibilidad hídrica, por lo tanto, las zanjas de infiltración que se

realizan en las calizas fracturadas incrementarían en 30% a 40% la producción de agua del manantial.

## **2.2. GEOLOGIA**

Las características geológicas están relacionadas genéticamente con los principales eventos geológicos ocurridos en la región, destacando entre ellos movimientos tectónicos de tensión y compresión que han originado un intenso fallamiento y erosión siguiendo la orientación de la cordillera de los Andes. En la cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa afloran rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas por depósitos de rocas volcánicas y depósitos in consolidados modernos.

### **2.2.1. Devónico**

La parte de la cuenca del Titicaca, se encontraba sumergido bajo aguas marinas muy profundas, especialmente la parte oriental de la cuenca, por eso la sedimentación silicio clástico hacia la parte este. A fines del devónico medio, los mares empiezan a retirarse del gran geosinclinal por el levantamiento paulatino de la cuenca. Este periodo se caracteriza, por una tectónica de compresión que da lugar a plegamientos y metamorfismos de tectónica Herciniana, se da también un vulcanismo sin sedimentación. El Devónico es representado por el Grupo Cabanillas que tiene una litología tipo de areniscas y lutitas que se intercalan con areniscas cuarzosas. (Gonzales Aliaga & Lopez Ramirez, 2015, p. 9)



### 2.2.2. Grupo Cabanillas

Sus rocas se restringen al sector central de la región, en los alrededores del poblado de Cabanillas (Cerro Calancorane, Cerro Arco Punco, Cerro Sinucachi) y al sur de la Ciudad de Juliaca en la Hacienda el Carmen. Valencia, M. & Rosell, W (2001d), dividen esta unidad en cuatro unidades que van desde su deposición inferior hasta su tope, diferenciándolos según litología. La diferenciación litológica fue mapeada cartográficamente por el INGEMMET, encontrando cambio de facies en forma local con muy poca variabilidad litológica.

La sección tipo fue definida por Newell (1949) justamente en el Pueblo de Cabanillas, la litología tipo consta de lutitas grises con capas delgadas de areniscas cuarcíticas gris oliva con numerosos braquiópodos en capas de areniscas (400 m); lutitas negras con menor cantidad de areniscas laminadas, concreciones de calizas ferruginosas (200 m); lutitas gris olivo oscuras, limosas y menor cantidad de areniscas cuarcíticas lutíticas encubiertas en planos de estratificación (150 m) y cuarcitas argiláceas, verdosas de grano fino a medio con numerosos fósiles en las capas inferiores (400 m).

Las unidades litológicas que diferencian Valencia, M. & Rosell, W (2001d) fueron descritas como lutitas gris oscuras con laminación paralela intercalada con areniscas de grano fino a medio, pertenecientes a la unidad estratigráfica en mención.

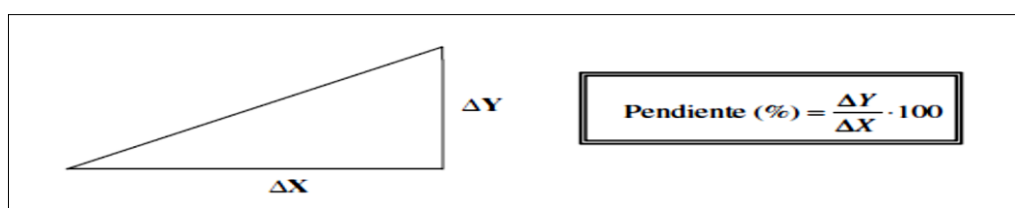
### 2.2.3. Pendiente del terreno

La Pendiente del terreno es uno de los parámetros que más utilizamos sin darnos

cuenta cuando hablamos de lo que no cuesta subir una cuesta empinada en la ladera de una montaña.

El concepto de pendiente en sí, es la relación que existe entre el desnivel (Y) y la distancia en horizontal (X) que debemos recorrer. Se expresa normalmente en % o en grados.

**FIGURA 1 DETERMINACION DE LA PENDIENTE**



Fuente: Ordoñez Gálvez, 2011

Su aplicación al terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera (Y) mediante las cotas, y su variación en el espacio.

#### **2.2.4.1. La pendiente máxima según el método topográfico**

Para el cálculo de la pendiente en un mapa topográfico, hemos de tener en cuenta las curvas de nivel existentes en él. Posteriormente para el cálculo de la pendiente en una zona deseada, debemos de observar entre qué curvas de nivel se sitúa el punto que buscamos. Trazar una línea que pase por el punto y que sea perpendicular a las dos curvas. Medir sobre el plano la distancia de la línea entre los puntos A y B de corte y, atendiendo a la escala del plano, determinar la distancia reducida\* existente entre las curvas de nivel. Si la queremos en grados, aplicaremos la fórmula de la tangente: (Ibañez Asencio, Gisbert Blanquer, & Moreno Román)

$$\text{Tan}\alpha = \frac{h}{Dr} \rightarrow \alpha = \text{arctg}\left(\frac{h}{Dr}\right)$$

## 2.3. RECARGA ARTIFICIAL

### 2.3.1. Sistema de recarga artificial

Se denomina sistema de recarga artificial de acuíferos a toda acción humana tendiente a retener agua dentro de la cuenca mediante la inyección de agua en el subsuelo, vale decir dentro de los acuíferos en roca o suelo que tienen la propiedad de almacenar, transmitir y descargar en forma de manantiales, ojos de agua, humedales, etc. Estos pueden ser de flujo concentrado o disperso, que suministran agua a los pueblos para los diversos usos: consumo humano, agropecuario, industrial y recreativo durante todo el año. A esta acción de retener agua al interior de la cuenca, ya sea de forma superficial, mediante los embalses o en forma subterránea con acciones de recarga artificial, se denomina “manejo del ciclo hidrológico”. Es una forma de aprovisionarse de agua para los períodos de años secos cuando se tienen meses y años de mayor precipitación pluvial. Combinan sistemas de regulación superficial y subterráneos. En los años húmedos, se recargan los acuíferos y se utilizan al máximo los embalses y en años secos o de poca precipitación se puede sobre-explotar los acuíferos, de manera que es posible hacer un uso consuntivo de las aguas superficiales y subterráneas. (Apaza D., Arroyo R., & Alencastre A., 2006, p. 12).

La UNESCO (2002) aclara que la recarga artificial es «el aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales».

Según Custodio (1986) afirma que la recarga artificial es "la ciencia y el conjunto de técnicas que permiten aumentar la disponibilidad de agua subterránea, con la calidad apropiada a los usos a la que se destina, mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua". La recarga artificial se puede llevar a cabo partiendo de diferentes fuentes de agua. Así, se puede tomar el agua de ríos, presas, acuíferos, acueductos, alcantarillado, zonas de regadío, plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de tratamiento de agua de tormenta, etc. Cuanto más se tarde en conducir el agua, tanto más contaminantes puede absorber ésta, pasando del agua de lluvia (denominada "rainwater" en inglés y que se obtiene de los tejados o tanques que recogen el agua de lluvia directamente) al agua de tormenta (denominada "stormwater" en inglés, agua de origen pluvial pero recogida después de que haya circulado por el suelo (ríos, escorrentía superficial, alcantarillado). Menos frecuente es el uso de agua subterránea para abastecer un acuífero, pero se dan algunos casos donde el agua se obtiene de otro acuífero (ya sea transportada o mediante pozos de conexión) o de galerías de captación de agua subterránea. Aparte del objetivo principal de aumentar la disponibilidad de agua con ciertos requisitos de calidad, la recarga artificial de acuíferos persigue muchos objetivos adicionales. Algunos de estos objetivos varían de un lugar a otro por factores climáticos, morfológicos, económicos, etc. Incluso en un mismo lugar pueden variar los motivos a lo largo del tiempo a medida que las necesidades o exigencias sociales han ido cambiando. (Sukia Irastortza, 2009)

#### **2.3.1.1. Objetivos de la recarga artificial**

Son muchos los objetivos adicionales de la recarga artificial. A continuación, pasaremos a citar una recopilación de estos objetivos realizada por

Custodio (1986), para hacernos una idea del potencial que abarca el tema de la recarga:

Suplementar la cantidad de agua subterránea disponible y permitir mayor extracción anual, y en su caso estacional, conservando los pozos y otras obras de captación existentes y evitando la instalación de costosas obras de distribución de aguas de otras procedencias.

Reducir o eliminar el descenso de nivel del agua subterránea y, en su caso, elevar los niveles para reducir el coste de extracción y/o mantener los caudales de explotación.

Conservar y/o eliminar agua de escorrentía y aguas de tormenta, en su caso, contribuyendo al control de crecidas.

Compensar la pérdida de recarga natural al acuífero, que se puede producir a causa de actividades humanas, tales como encauzamientos, derivaciones de agua, urbanización, construcción de obras civiles y otras formas de modificación del uso del terreno.

Mejorar la situación en acuíferos costeros en lo que se refiere a penetración del agua marina y formación de conos de ascenso salino.

Almacenar agua dulce en el terreno, cuando resulte más conveniente que hacerlo en superficie (falta de terreno, excesiva evaporación, gran oposición pública, etc.).

Una variante es la de almacenar agua dulce en un acuífero de agua salada. Puede ser con carácter estacional o para compensar la variabilidad de un año a otro. Mejorar las condiciones para el uso conjunto de aguas superficiales y aguas subterráneas.

Evitar que aguas de inferior calidad existentes en el acuífero o que se producen por contaminación se desplacen hacia las captaciones de agua de buena calidad o bien tratar de desplazar esas aguas indeseables hacia otras partes.

Acelerar el lavado de ciertas sales y productos, aumentando el flujo en el acuífero para así reducir el tiempo de residencia del agua y de las sustancias indeseables en el medio.

Efectuar un tratamiento físico, químico y biológico del agua en el propio terreno.

Recuperar aguas residuales, en general después de un tratamiento previo. Suficiente, almacenándolas y completando el tratamiento depurador en el terreno.

Reducir, paliar o eliminar fenómenos de subsidencia a causa de sobreexplotación de aguas subterráneas.

Almacenar en el terreno agua fría invernal para mejorar el rendimiento de procesos de refrigeración o agua caliente residual utilizable en otras épocas, con fines de ahorro energético. Esta posibilidad suele considerar la utilización de bombas de calor.

Compensar los efectos negativos que puedan producir obras hidráulicas de superficie y obras civiles sobre los acuíferos.

Mantener el caudal de un río o el nivel del agua de un lago en estiaje por motivos estéticos o ecológicos.

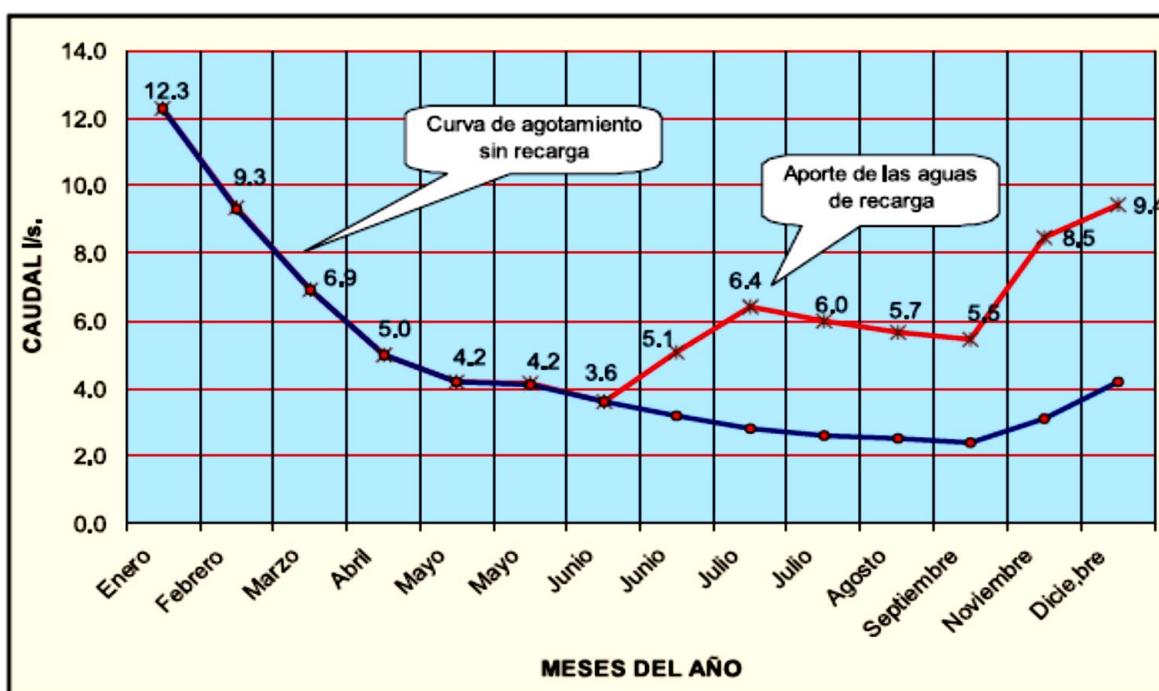
Tratar la propia agua del acuífero, reinfiltrando parte del agua extraída después de un acondicionamiento, por ejemplo, por aireación. (Sukia Irastortza, 2009)

### 2.3.1.2. Eficiencia de recarga artificial del acuífero

Según (Apaza D., Arroyo R., & Alencastre A., 2006); De acuerdo a la versión de los comuneros, a los 15 a 20 días de la recarga, se nota el incremento del caudal en las fuentes, que puede duplicar o triplicar su volumen normal, dependiendo del tipo de fuente y del acuífero. El caso más representativo es el manantial Lechica en Santiago de Tuna que produce 0.14 l/s, y con el incremento llega hasta 5 l/s.

Por otro lado el monitoreo durante un ciclo hidrológico indica que el incremento del caudal del agua registrado en esta fuente llega hasta en un 60% respecto al caudal del mes de junio (época seca), cuando las aguas de los manantiales empiezan a reducir su volumen y luego el acuífero vuelve a decrecer aún más, pero siempre tiene un poco más volumen por el aporte más prolongado de las aguas de recarga. Este golpe de caudal del agua de los manantiales, se produce por una clara acción del efecto del agua de recarga. Al parecer la fuente de Chaute es la más representativa como muestra de contribución de las aguas de recarga. El manantial de Chaute que produce 4.6 l/s., con las amunas y las lluvias llega a duplicar su caudal; este manantial constituye la fuente más importante del lugar por hacer posible toda la producción agrícola y pecuaria de la comunidad de La Merced de Chaute. La recarga de las fuentes duran todo el año, se inicia a las dos semanas de funcionamiento y luego el más importante aporte ocurre de junio a julio; cuya duración se prolonga hasta el mes de noviembre.

FIGURA 2: CURVA DE AGOTAMIENTO MANANTIAL CHAUTE HUAROCHIRÍ



Fuente: las amunas de Huarochiri (Apaza D., Arroyo R., & Alencastre A., 2006)

## 2.4. ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Las zanjas de infiltración son canales sin desnivel construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, evitando procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo.

### 2.4.1. Características del diseño de zanjas de infiltración

Según Peña F., Charca M., & Condori E. (2015); Para proponer un sistema de recarga artificial de acuíferos es importante conocer las características morfológicas e hidrogeológicas de los materiales a recargar, conocer sus parámetros hidrogeológicos, que nos permitirá realizar diseños adecuados de las técnicas de recarga.

Para ubicar zanjas de infiltración es necesario que exista una capa superficial de material no consolidado (suelo) que permita su emplazamiento y distribución,



experimentalmente en este informe sugiere que se tracen zanjas de infiltración en los afloramientos rocosos, porque (según las pruebas de campo) tienen mayor conductividad hidráulica que los suelos y por ende mayor capacidad de infiltración.

#### **2.4.2. Recarga artificial mediante zanjas de infiltración**

Anteriormente, las zanjas de infiltración se diseñaron para mejorar los suelos, controlar la erosión y generar humedad local en las coberturas semiáridas. Sin embargo; cuando las zanjas se diseñan sobre materiales permeables generan importantes caudales de recarga que hoy en día es usada como una de las técnicas más eficientes de recarga artificial de acuíferos, sobre todo en rocas fracturadas de alta montaña, sin perder su función de controlar la erosión laminar o en surcos.

Las zanjas de infiltración deben responder a la cantidad de agua de lluvia que cae a la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. Es decir, la capacidad de escorrentía e infiltración no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan. Las zanjas de infiltración deben ser transversales a la máxima pendiente del terreno, deben tener una pendiente de 1% (hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno). Como la fuente de alimentación corresponde a la lluvia, las zanjas deben ser paralelas con separación de espacios entre 10 m a 13 m entre ellas. La relación de distancias o cualquier corrección al momento de la ejecución debe ser corregida en función de la pendiente del terreno. Asimismo; si se atraviesa sectores con mayor permeabilidad (afloramiento de roca fracturada) se pueden variar las dimensiones, ampliando la base, el ancho y la profundidad

de la zanja, pero manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua e interconexión entre las zanjas. El material extraído de la zanja debe depositarse en la parte inferior de la zanja, formando un pequeño montículo. Se debe depositar el material movido a unos 20 cm de distancia, para que la tierra no retorne a la zanja con la primera lluvia.

Según Pizarro, se debe elegir un adecuado valor de intensidad de precipitación en el diseño de estas obras. 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 impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja; es decir la capacidad de estas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que ella converjan. (Flores Villanelo, 2004).

### 2.4.3. Principio para el diseñar las zanjas de infiltración

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

Dónde:  $V_{ai}$ : Volumen de aportación zona impluvio ( $m^3$ );  $V_{cz}$ : Volumen de captura zona de zanjas ( $m^3 / hr$ ); Y  $V_{in}$ : Volumen de infiltración de la zanja ( $m^3 / hr$ ).

$$V_{ai} = P \times S \times e$$

Dónde:  $P$ : Precipitación (máxima en 1 hora);  $S$ : Superficie de captación;  $e$ : Coeficiente de escorrentía:

$$V_{cz} = b \times h \times l$$

Dónde:  $b$ : Base de la zanja (m);  $h$ : Altura de zanja (m) y  $l$ : Largo de la zanja (m)

$$V_{in} = b \times v \times l$$

Dónde:  $b$ : Base de la zanja (m);  $v$ : Velocidad de infiltración de la zanja (m);  $l$ : Largo de la zanja (m).

Asociado a lo expuesto, se plantea lo siguiente:

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

$$P \times S \times e \leq (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$

$$P \times [l \times d] \times e \leq (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$

$$d = \frac{b \times (h + v)}{P \times e}$$

Luego: Distanciamiento:

#### 2.4.4. Amuna

Las Amunas, palabra de origen quechua que significa “retener”, son un sistema prehispánico de recarga artificial de acuíferos mediante la siembra y cosecha de agua, que aún es implementado por algunas comunidades campesinas andinas del Perú, entre la zona de puna (a más de 4000 m.s.n.m.) y la zona quechua (entre los 2300 y los 3500 m.s.n.m.). El funcionamiento del sistema empieza entre los meses de diciembre y abril con la “captura de las lluvias” (y deshielos) en la parte alta de la cuenca, donde no hay cultivos sino laderas de piedras y pastos. Estas aguas son conducidas a través de una red de acequias y/o canales (sin revestimiento), a superficies fracturadas, porosas y rocosas, a partir de las cuales se infiltran en los acuíferos montañosos (Gonzales & Lopez, 2015).

El trabajo realizado en la parte alta, permite alimentar, gradual e ininterrumpidamente, los manantiales existentes aguas abajo y disponer de este

recurso durante los meses de agosto, setiembre y octubre (época de estiaje), justo al comenzar la siembra. De ese modo las familias campesinas disponen de mayor cantidad de agua de la que tendrían por infiltración natural (Custodio & Llamas, 1996).

La cosecha del agua de los puquios o manantiales es de carácter familiar o grupal, a diferencia de la organización y reparto que es particular pero equitativa, ya que responde a consensos, teniendo en cuenta el nivel de participación o involucramiento en todo el proceso.

Según (FONCODES, 2015); Es una práctica que se realiza en zonas rocosas por encima de los 4400 msnm., captando el agua de las lluvias y conduciéndolas a través de acequias de tierra, para luego infiltrarlas en rocas fracturadas, ubicadas encima de los manantes.

#### **2.4.4.1. Objetivo de uso de las amunas**

El objetivo principal de las amunas es “Aumentar y alargar el caudal de los manantiales que abastecen a los pequeños sistemas de riego y a los asentamientos urbanos y rurales de las comunidades. Con los “aumentos” se prolongan los turnos de riego que les corresponden a los comuneros que han participado del mantenimiento y reactivación (...) a la par que obtienen y ratifican el derecho del acceso al agua” (Apaza, Arroyo y Alencastre, 2006, p. 15-16).

Además de abastecer de agua de riego a la agricultura en áreas de secano, una porción del agua de los manantiales almacenada en los reservorios se destina a la crianza de animales, al consumo doméstico y a otros servicios en los centros poblados. (GIAAF, pag.2)

## 2.5. CARACTERISTICAS GEOHIDRAULICAS

Las características geohidráulicas más utilizadas para el diseño de zanjas de infiltración será la permeabilidad, la escorrentía entre otros que se ven a continuación:

### 2.5.1. Escorrentía

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de:

Escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática).

La escorrentía puede ser superficial o subsuperficial. Una parte importante del agua de un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es de flujo subsuperficial, es decir, agua que no circula en régimen de lámina libre, sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y, en vez de constituir infiltración eficaz, circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie. La distribución entre la escorrentía superficial y la subsuperficial está determinada por la tasa de infiltración y capacidad de almacenamiento del suelo, las cuales dependen, básicamente, de factores climatológicos, geológicos, hidrológicos y edáficos. Probablemente el factor más decisivo sea la intensidad y la duración de la lluvia, pero también son determinantes la textura y estructura del suelo, su conductividad hidráulica y condiciones de drenaje interno. Externamente, la topografía del terreno, la

conformación de la red de drenaje y la vegetación son factores importantes (Lopez & Molina, 2011).

El flujo subsuperficial predomina en la mayor parte de las situaciones, excepto en caso de aguaceros de fuerte intensidad. La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que no llega a penetrar el perfil de suelo y, por consiguiente, circula sobre la superficie del terreno. Las lluvias muy intensas que superan la capacidad de infiltración de agua en el suelo o que caen sobre superficies poco permeables (suelos delgados, terrenos rocosos, caminos, patios, techos, etc.) producen escorrentía que puede ser aprovechada para diferentes usos (doméstico, animal, riego, etc.).

Para ello se debe manejar y captar después de que se inicia. De no ser así, puede derivar en un problema de difícil control y causar daños (surcos, cárcavas). En cuencas hidrográficas donde la escorrentía no es controlada, la erosión hídrica destruye los suelos y los cauces presentan crecidas abruptas y peligrosas durante el periodo de lluvias. En cambio, en el período sin ellas los caudales se reducen a niveles críticos, los manantiales pequeños tienden a secarse y hay menos agua para uso de la gente. (FAO, 2013).

### **2.5.2. Acuífero**

Es una formación geológica, capaz de almacenar y transmitir caudales económicamente rentables, bajo un gradiente hidráulico. Buenos acuíferos usualmente se desarrollan en formaciones con contenido de arena, grava y rocas fracturadas. (Kresic, 2009).

### 2.5.2.1. Tipos de acuíferos

Según su comportamiento hidráulico se pueden hallar los acuíferos libres, no confinados o freáticos (aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que contienen, que está en contacto con el aire y por tanto a presión atmosférica); acuíferos cautivos confinados o a presión (aquellos en los que la superficie superior del agua se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica), y acuíferos semicautivos o semiconfinados (aquellos en los que la pared superior o inferior no es totalmente impermeable, sino que se trata de un acuitardo, es decir, un material que permite la filtración del agua, pero de forma muy lenta, lo que sirve de alimentación al acuífero principal). *(Universidad Nacional de Colombia, 2013).*

Los acuíferos de arenisca consolidada son acuíferos porosos y/o fracturados que pueden tener una gran capacidad de almacenamiento y transmisión. La capa superficial determinará la recarga natural y gestionada. Si el suelo se originó a partir de arenisca la capacidad de recarga será alta, aunque puede ser reducida si se encuentra recubierto por depósitos aluviales de grano fino.

Si la permeabilidad del acuífero es alta, es probable que el agua de recarga se disipe rápidamente, pudiendo perderse hacia el caudal base de ríos. En este caso, es necesaria una buena comprensión de la hidráulica del acuífero para asegurar que los resultados netos de la recarga sean beneficiosos. Es posible gestionar el acuífero creando un excedente anual durante la época de lluvias, de forma de “crear” almacenamiento que puede ser aprovechado en otras épocas. *(UNESCO, 2000, p. 9)*

### 2.5.2.2. Característica de los acuíferos

La propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad, Permeabilidad, Transmisibilidad Especifica y coeficiente de almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo (Arocha, 1980)

### 2.5.3. Porosidad (N)

Como las rocas no son completamente solidas (poseen grietas o espacios intergranulares), y al conjunto de estas aberturas o intersticios se le llama porosidad. La porosidad no define la existencia del acuífero, sino que además se requiere de estos estén interconectados; características que se ve afectado por los factores siguientes:

Grado de comparación del material, forma y arreglo de las partícula y su gradación, las cuales son independientes del tamaño de las mismas. El valor de "n", varia de 0 a 50%, dependiendo de los factores mencionados (Ordoñez Galvez, 2011, pág. 11). La porosidad es la característica que posee un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, representa el volumen del material ocupado por dichos intersticios. Se considera que una porosidad menor al 5% es baja, entre el 5 y el 20% es media y más del 20% es alta. Es posible aplicar la porosidad tanto en un material granular como en uno fracturado, inclusive se hallan materiales granulares compactos que se encuentran fracturados y enseñan lo que se llama doble porosidad. (Maderey, 2005).



#### 2.5.4. Poros

Se refiere a los espacios abiertos en los diferentes tipos de rocas; en las rocas duras los espacios corresponden a fracturas, diaclasas, planos de estratificación y cavidades producto de la disolución. Estos espacios no tienen una distribución uniforme y se consideran como fenómenos localizados. Este tipo de porosidad se denomina “porosidad secundaria”. En las rocas blandas: los poros están presentes entre los granos individuales y los minerales. La distribución de estos poros es mucho más homogénea que en las rocas consolidadas. Este tipo de porosidad se denomina porosidad primaria o porosidad intergranular. (Ordoñez Galvez, 2011).

**TABLA 1. POROSIDAD EN LOS DISTINTOS TIPOS DE SEDIMENTOS Y ROCAS.**

<b>Tipo de sedimentos y rocas</b>	<b>Total (%)</b>	<b>Eficaz (%)</b>
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Lodo	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas, dolomías	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas, dolomías kársticas	5 a 50	5 a 40
Ígneas y metamórficas no fracturadas	0.01 a 1	0.0005
Ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0.0005 a 0.01

FUENTE: (SANDERS, 1998)

Es la propiedad que posee la roca para permitir que los fluidos se muevan a través de sus poros. Se la define como el caudal de agua que se filtra a través de una sección de área de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario; tiene dimensiones de velocidad (m/s). Dentro de este concepto pueden definirse otros dos:

La permeabilidad ligada tanto a las características texturales del medio físico como del fluido que transmite, denominada permeabilidad efectiva o conductividad hidráulica, representada por el coeficiente de permeabilidad,  $K$ . La denominada permeabilidad intrínseca,  $k$ , que es solo dependiente de las características internas del medio permeable. Expresada de la siguiente manera:

$$Q = K.i.A$$

Dónde: Q: Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo; K: Conductividad hidráulica; i: Gradiente piezométrico; y A: Sección transversal por donde se filtra el agua.

#### 2.5.5. Permeabilidad (k)

Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; es decir un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula. Esta libertad de movimiento depende de: Tamaño y forma de las partículas, gradación del material y viscosidad del agua. El coeficiente de permeabilidad de un material, se define como el volumen del agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria ( $1 m^2$ ), cuando el gradiente hidráulico es unitario y la

temperatura este en promedio 15°. La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad m/día ó  $m^3 / día / m^2$  (Arocha, 1980).

### 2.5.5.1. Ensayo Lefranc con nivel constante

En la presente investigación aplicaremos el método de Ensayos Lefranc de Custodio (1983), González et al. (2002), Jiménez Salas, (1981), Puertos del Estado (1994).

Se introduce un caudal constante, Q, para mantener el nivel del agua dentro del sondeo estabilizado a una altura hm. para las variables usadas en las fórmulas siguientes.

La conductividad hidráulica se obtiene por esta expresión:

$$k = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

Dónde:

K = Conductividad hidráulica

Q = Caudal inyectado

hm = Altura del agua dentro del sondeo, por encima del nivel estático previo y

C = Factor de forma

### 2.5.6. Coeficiente de almacenamiento (s)

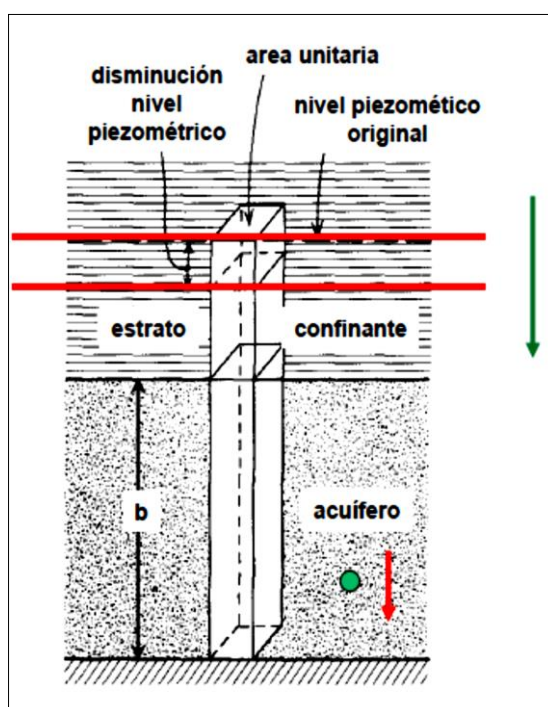
Es adimensional. Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezómetro (o la presión) figura 4. Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del

acuífero, de sección igual a la unidad y altura del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezómetro. En un acuífero confinado los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.005, mucho menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre ver figura. Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en partículas de las capas de arcilla y limos intercaladas, (por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico), y todo el material acuífero permanece saturado (Custodio & Llamas, 1996).

### **2.5.7. Infiltración y almacenamiento**

Se entiende por infiltración el flujo de agua que penetra a través de la superficie del suelo y se redistribuye desde las zonas saturadas hacia las no saturadas del perfil. El índice de infiltración del suelo es el flujo de agua que penetra por unidad de tiempo. Los factores que afectan la infiltración son: Tipo de cubierta vegetal, características hidráulicas del suelo y del terreno, estado de humedad del suelo, intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego, calidad del agua, formación de costras superficiales y trabajos agrícolas. Parte del volumen de agua que infiltra fluye rápidamente a través de los macro poros, en los cuales se presenta baja energía de retención, y sale de la zona radical para abastecer la napa freática. Es un volumen de agua no aprovechado inmediatamente por las plantas; sin embargo, abastecerá la napa freática y, por consiguiente, los manantiales. Por ello es importante el rol que cumplen la fauna del suelo (lombrices, insectos y otros), los microorganismos y las raíces, al crear bioporos (poros grandes y continuos) para que el agua de lluvia (o de riego) se infiltre rápidamente. (FAO, 2013)

FIGURA 3: COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Fuente: [www.fcfm.cl](http://www.fcfm.cl)

### 2.5.8. Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. (Wikipedia, 2017).

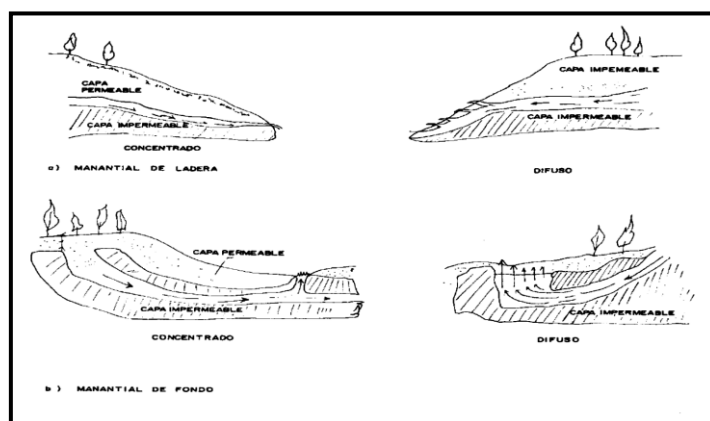
### 2.5.9. Manantial

Se puede definir un manantial como un lugar donde se produce un afloramiento natural de agua subterránea. El agua del manantial fluye por lo general a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada. En los lugares donde existen estratos impermeables, estos bloquean el flujo

subterráneo del agua y permiten que aflore a la superficie. En la Figura 2., se observa el proceso de recarga del manantial. El agua del manantial es pura y, por lo general, se la puede usar sin tratamiento, a condición de que el manantial este adecuadamente protegido con una estructura que impida la contaminación del agua. Se debe asegurar que el agua provenga realmente de un acuífero y que no se trate de agua de un arroyo que se ha sumergido a corta distancia (Aguero, 1997).

En el país, el Ministerio de Salud, clasifica los manantiales por su ubicación y su afloramiento. De acuerdo a lo primero, pueden ser de ladera o de fondo; y de acuerdo a lo segundo, de afloramiento concentrado o difuso. Los manantiales generalmente se localizan en las laderas de las colinas y los valles veremos. En los de ladera el agua aflora en forma horizontal; mientras que en los de fondo el agua aflora en forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado y cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor, es un manantial difuso, tal como puede apreciarse en la Figura 2.3. (Agüero Pittman, 1997, p. 28)

**FIGURA 5. TIPOS DE MANANTIALES**



Fuente: (Agüero Pittman, 1997, p. 28)

## 2.6. CLIMATOLOGIA

El clima de alguna u otra forma influye en el déficit hídrico que se viene dando en el distrito de Cabanilla.

El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante, desde el punto de vista climatológico, la región tiene una estación húmeda (noviembre a marzo), otra seca (junio a agosto) y dos periodos de transición (Septiembre – octubre y abril – mayo). En verano (nov – feb), el viento dominante viene del Sur – Este. Al inicio del mes de marzo, la entrada del otoño es marcado por un cambio brusco de dirección el viento sopla del Nor – Este hasta el mes de Mayo; de Junio a Agosto, el viento es del Oeste, mientras que en la Primavera (sep – oct) el viento toma una componente Nor – Oeste. Otro aspecto localizado sobre la región es la anomalía depresionaria provocada por el fuerte calentamiento del suelo árido. En efecto, la altitud media es en torno a 4,000 m.s.n.m. y la presión media es de 624 mb (INRENA, 2007).

Esta situación provoca fuertes movimientos conectivos, a la que se añade la humedad producida por la evaporación del Lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cumulus y cumulonimbos sobre la región. Los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima de la cuenca son: precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de la cuenca del río Coata. Estos parámetros provienen de los registros históricos de las distintas estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca. (INRENA, 2007, pág. 29).

### **2.6.1. Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmosfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo hasta el mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re evaporación. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re circulatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo es fundamentalmente a de dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condense descienda (precipitación y escurrimiento).

Chereque, 1989, se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (solido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub superficial, subterránea, etc.) (Apaza, Arroyo, & Alencastre, 2006)

### **2.6.2. Precipitación**

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (roció, helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico para la formación de la precipitación se requiere la condensación del valor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. (Ordoñez Galvez, 2011).



### **2.6.3. Análisis de precipitaciones máximas de 24 horas**

Según Molina y Remenieras, se entiende por tormenta o borrasca el conjunto de lluvias que obedecen a la misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días, y pueden abarcar extensiones muy variables, desde pequeñas zonas hasta vastas regiones. Aquize, E. el chubasco son precipitaciones repentinas que se inician y terminan bruscamente, presentándose variaciones violentas y rápidas de su intensidad, van acompañados de ráfagas violentas de truenos y relámpagos (Arocha, 1980).

### **2.6.4. Efectos del cambio climático**

El aumento de la temperatura es el factor principal del cambio del clima en el mundo. Se ha generado porque los seres humanos, deforestamos, quemamos bosques y praderas, usamos mucho petróleo, etc. así se producen gases que contaminan el aire de la atmosfera y contribuyen con el calentamiento del planeta. A consecuencia del cambio climático, el ciclo del agua está cambiando, produciéndose:

#### **2.6.4.1. Eventos climáticos extremos**

En la sierra las lluvias se retrasan; antes se presentaban en setiembre ahora se demoran hasta diciembre, hay más lluvias torrenciales que provocan derrumbes, huaycos e inundaciones. También, las sequías, las granizadas y nevadas son más fuertes; las heladas se presentan en cualquier momento y durante más días que antes. Por ello en algunos territorios

observamos que la cobertura vegetal que protege el suelo está disminuyendo (pastizales naturales, arboles, entre otros). (FONCODES, 2015).

### **2.6.5. Siembra y cosecha de agua**

Para que la reducción del recurso hídrico nos afecte menos, se debe realizar la “siembra y cosecha de agua” en las cabeceras de cuenca. Esto permitirá almacenar el agua de las lluvias, incrementar su infiltración y aprovecharla en las épocas de estiaje. En el Perú, a la recarga de las aguas subterráneas realizadas por el hombre, se le llama “siembra de agua”. Consiste en captar parte del agua de lluvia y hacer que esta se infiltre para recargar las aguas subterráneas, antes que se pierda, o se vaya al río. (FONCODES, 2015).

#### **2.6.5.1. Formas de siembra de agua**

La siembra de agua se puede hacer de varias maneras, el principal objetivo es disminuir la velocidad con la que discurre el agua de lluvias en el suelo, así ya no seguirá corriendo “con la misma fuerza” y se infiltrará recargando las aguas subterráneas. Existen varias formas y una de ellas es las zanjas de infiltración. (FONCODES, 2015)

## **2.7. DIMENSIONAMIENTO**

### **2.7.1. DIMENSIÓN**

Valor numérico que define el tamaño, forma, localización, textura de la superficie o una característica geométrica (...) En el dimensionamiento métrico, cuando el valor es menor que uno, el punto decimal va precedido por un cero. En el dimensionamiento en pulgadas, cuando el valor es menor que uno, no se pone

un cero antes del punto decimal. Dimensión básica es el valor numérico que define teóricamente el tamaño, localización, perfil u orientación de una característica. Las dimensiones básicas se dibujan con un rectángulo alrededor del valor numérico.

Dimensión de referencia. Valor numérico delimitado por paréntesis que se utiliza sólo para información y que no tiene un uso directo en la fabricación de la pieza. La dimensión de referencia es un tamaño calculado, sin tolerancia, empleado para indicar el tamaño pretendido de una pieza. En los dibujos que siguen estándares antiguos tal vez se haya colocado un REF después de la dimensión de referencia, en lugar de hacer uso de los paréntesis.

## CAPITULO III

## MATERIALES Y METODOS

## 3.1. UBICACIÓN GENERAL

La zona de estudio se encuentra ubicado en la comunidad Campesina de Collana que pertenece geográficamente al distrito de Cabanilla, provincia de Lampa y departamento de Puno. Se encuentra ubicado en las coordenadas 15°36'56"S 70°22'0"O. Según el INEI, cabinillas tiene una superficie total de 443.04 km<sup>2</sup>. Está situado al sur de la Provincia de Lampa, en la zona céntral del departamento de Puno y en la parte sur del territorio peruano. Se halla a una altura de 3 882 msnm.

Región : Puno.  
Provincia : Lampa.  
Distrito : Cabanilla.  
Comunidad : Collana.

La C.C. de Collana pertenece al distrito de Cabanilla políticamente al departamento de Puno y a la provincia de Lampa, Departamento de Puno.

## 3.1.1. Acceso y vías de comunicación

CUADRO N° 2 : VÍAS DE ACCESO A LA COMUNIDAD CAMPESINA COLLANA						
Accesibilidad desde la Ciudad de Puno	Desde	Hasta	Tipo Vía	Medio de Transporte	Kms	Tiempo
	Puno	Juliaca	Carretera Asfaltada	Vehículo motorizado	45	50 min.
	Juliaca	Cabanillas	Carretera Asfaltada	Vehículo motorizado	30	30 min.
	Cabanillas	Cabanilla	Carretera Afirmada	Vehículo motorizado	3	5 min.
Accesibilidad desde la Capital del Distrito	Cabanilla	C.C. Collana	Trocha Carrozable	Vehículos particulares, a pie	4.5	20 min.

Fuente: elaboración propia

El área de estudio se encuentra limitado por las siguientes unidades hidrográficas:

Por el Sur con el CC. Callapoca; Por el Norte con la CC. Pías Ichuria; Por el Este con el distrito de Cabanilla; y Por el Oeste con el CC. De Ichurusi

## **3.2. MATERIALES**

### **3.2.1. Equipos y materiales utilizados**

GPS; Nivel; Cronometro; Laptop; Cuaderno de campo; Bentonita; Fluxómetro; Tubería de PVC de 5cm de diámetro y longitud de 0.60m; Carta nacional geológica; y Martillo de geólogo.

### **3.2.2. Programas utilizados**

ArcGis 10.4; Software AutoCAD 2016; Software Excel 2010; Software Word 2010; y Software Aqtesolv ver. 4.5.

## **3.3. METODOLOGIA DE INVESTIGACION**

El presente trabajo consistió en tres etapas, que se describen a continuación:

### **3.3.1. Antecedentes de la zona de estudio**

Una primera etapa de evaluación preliminar en gabinete donde se preparó el mapa base y los mapas temáticos preliminares. La información cartográfica básica para la realización del estudio y la generación de mapas temáticos de la zona de estudio. Mapas de la Carta Geológica Nacional a escala 1/50,000 del INGEMMET digitalizados bajo el entorno de GIS; Recopilación de información geológica y de precipitación; Revisión del mapa geológico base, a escala 1/100000 del ámbito regional (40 cuadrángulos); Análisis de la información previa sobre geología; Georeferenciación de información

geológica; Interpretación de imágenes satelitales; Elaboración de fichas de campo para obtención de información geológica.

### 3.3.2. Trabajo de campo

#### 3.3.2.1. Reconocimiento de la zona de estudio

Contando con el apoyo de un guía del lugar se fue a verificar la zona, la ubicación de los manantiales, y viendo las formaciones, la topografía entre otros.

#### 3.3.2.2. Aforo de manantiales.

Se realizaron mediciones de caudal en época de estío y de lluvia en el manantial Collana – Cabanilla mediante el método: Método volumétrico se procedió utilizando un recipiente graduado en litros, para medir el flujo de agua, en un determinado tiempo la variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente nos dio una indicación de la precisión del resultado. El caudal fue calculado por la siguiente fórmula:  $Q = V / T$

Dónde: Q= Caudal (l/s); V= Volumen de la cubeta (L); y T= Tiempo que tarda en llenarse recipiente (s).

**TABLA N° 3.: AFORO DEL MANANTIAL 01 EN ÉPOCA DE LLUVIA- ESTÍO**

época de lluvia (fecha de aforo 02/03/2017)					época de estío (fecha: 22/08/2016)			
N° Prueba	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)
1	4.000	3.50	1.143	1.143	4.000	4.50	0.889	0.889
2	4.000	3.44	1.163	1.163	4.000	4.67	0.857	0.857
3	4.000	3.58	1.117	1.117	4.000	4.60	0.870	0.870
4	4.000	3.61	1.108	1.108	4.000	4.50	0.889	0.889
5	4.000	3.68	1.087	1.087	4.000	4.56	0.877	0.877
				1.124				0.876
Q prom = 1.000 l/s								

**TABLA N° 4: AFORO DEL MANANTIAL 02 EN ÉPOCA DE LLUVIA - ESTÍO**

EPOCA DE LLUVIA (fecha de aforo 02/03/2017)					EPOCA DE ESTIO (fecha: 22/08/2016)			
N° Prueba	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)
1	4.000	2.79	1.434	1.434	4.000	4.50	0.889	0.889
2	4.000	2.79	1.434	1.434	4.000	4.67	0.857	0.857
3	4.000	2.81	1.423	1.423	4.000	4.60	0.870	0.870
4	4.000	2.81	1.423	1.423	4.000	4.50	0.889	0.889
5	4.000	2.80	1.429	1.429	4.000	4.56	0.877	0.877
				1.429				0.876
Q prom = 1.152 l/s								

**TABLA N° 5: AFORO DEL MANANTIAL 03 EN ÉPOCA DE LLUVIA - ESTÍO**

EPOCA DE LLUVIA (fecha de aforo 02/03/2017)					EPOCA DE ESTIO (fecha: 22/08/2016)			
N° Prueba	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)	Volumen (Lts)	Tiempo de Llenado (s)	Caudal (Lts/s)	Caudal (L/s)
1	4.000	3.50	1.143	1.143	4.000	5.27	0.759	0.759
2	4.000	3.44	1.163	1.163	4.000	5.30	0.755	0.755
3	4.000	3.58	1.117	1.117	4.000	5.25	0.762	0.762
4	4.000	3.61	1.108	1.108	4.000	5.32	0.752	0.752
5	4.000	3.68	1.087	1.087	4.000	5.30	0.755	0.755
				1.124				0.756
Q prom = 0.940 l/s								

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

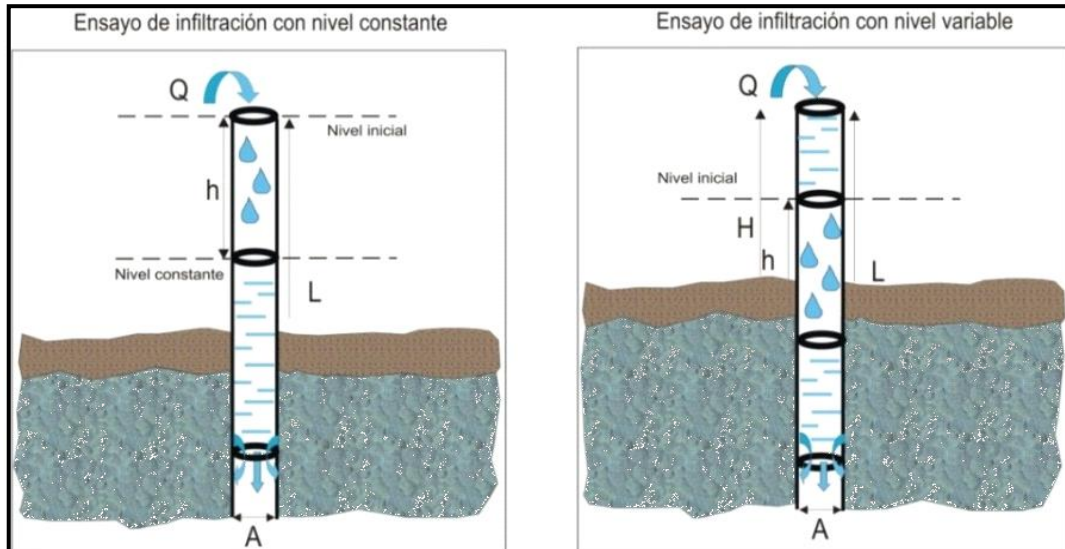
### 3.3.2.3. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Los ensayos de permeabilidad se realizaron para calcular los parámetros hidrogeológicos en medios porosos y fracturados, realizándose esta prueba en la zona alta del manantial Collana Cabanilla.

Se realizaron ensayos por el método de Lefranc de carga constante (Figura 5), no obstante que existen métodos de ensayo de carga variable, que consiste, en aplicar un volumen determinado de agua «dQ» que pasa a través del permeámetro de longitud «L» y de sección «A», en un intervalo de tiempo «dt», bajo una carga «h<sub>0</sub>-h=dh». Luego mediante la ecuación 1.5 se determina la conductividad hidráulica aplicando la ley de Darcy, (Castany, 1975):

$$K = \frac{dQL}{A \cdot dt \cdot dh}$$

**FIGURA Nº 5 ESQUEMA DE ENSAYOS DE INFILTRACIÓN DE CARGA CONSTANTE Y CARGA VARIABLE.**



Fuente: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/>

Procedimiento:

Se eligió un punto adecuado para realizar la prueba, de acuerdo a la naturaleza del terreno.

Se revistió la perforación con tubería de PVC, teniendo cuidado que el espacio anular entre la pared perforada y el revestimiento debe ser impermeabilizado empleando bentonita o material arcilloso. En el sondeo preparado, se inyectó agua de manera constante por un tiempo determinado hasta llenar el PVC, luego se repitió este proceso hasta que el nivel del agua se mantenga constante; Utilizando un flexómetro se realizó mediciones de la variación del nivel de agua, según tiempos programados para la prueba.





Figura 6: A) Inyectando el agua a la tubería B) se realiza mediciones de la variación del nivel de agua, según tiempos programados para la prueba

### 3.3.3. Trabajo de gabinete

Procesamiento de datos bibliográficos (precipitación, geología,) y datos recopilados en campo (Parámetros hidráulicos, hidrogeológicos).

Elaboración de mapas temáticos (mapa de ubicación, mapa geológico, mapa precipitación, mapa de pendientes, diseño de zanjas de infiltración y otros).

## 3.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN

### 3.4.1. Ubicación de la zanja de infiltración

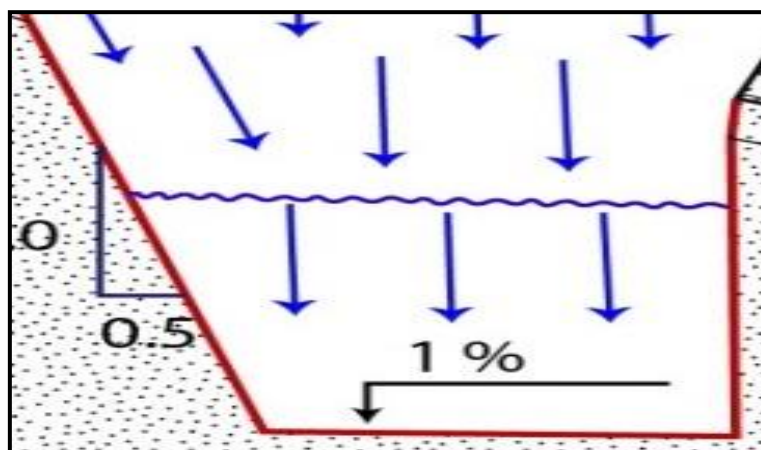
La ubicación de la fuente de recarga se ubica en la parte alta del manantial poli-surgente Collana Cabanilla, para ello se plantea las zanjas de infiltración en el mismo porque está marcada por un régimen estacional de lluvias como única fuente de recarga, el promedio de precipitación en la zona propuesta para la recarga, varía entre 663.43 mm y 938.70 mm.

Las zanjas serán paralelas con separación de espacios entre 10 m a 13 m entre ellas. El material extraído de la zanja debe depositarse en la parte inferior de la zanja, formando un pequeño montículo. Se debe depositar el material movido a unos 20 cm de distancia, para que la tierra no retorne a la zanja con la primera lluvia. En el espacio lateral que existe, entre una zanja y otra, debe excavarse un paso o canaleta hasta una apertura de 10 cm. Esto es importante porque permitirá que el agua de una zanja llena, pueda pasar a otra zanja, llenando así todas las zanjas por igual y controlara la erosión y caída de los muros de la zanja.

### 3.4.2. Pendiente de la zanja de infiltración.

Según Peña, Charca, & Condori (2015); Las zanjas de infiltración deben ser transversales a la máxima pendiente del terreno, deben tener una pendiente de 1% a hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno.

FIGURA N° 7: PENDIENTE DE LA ZANJA



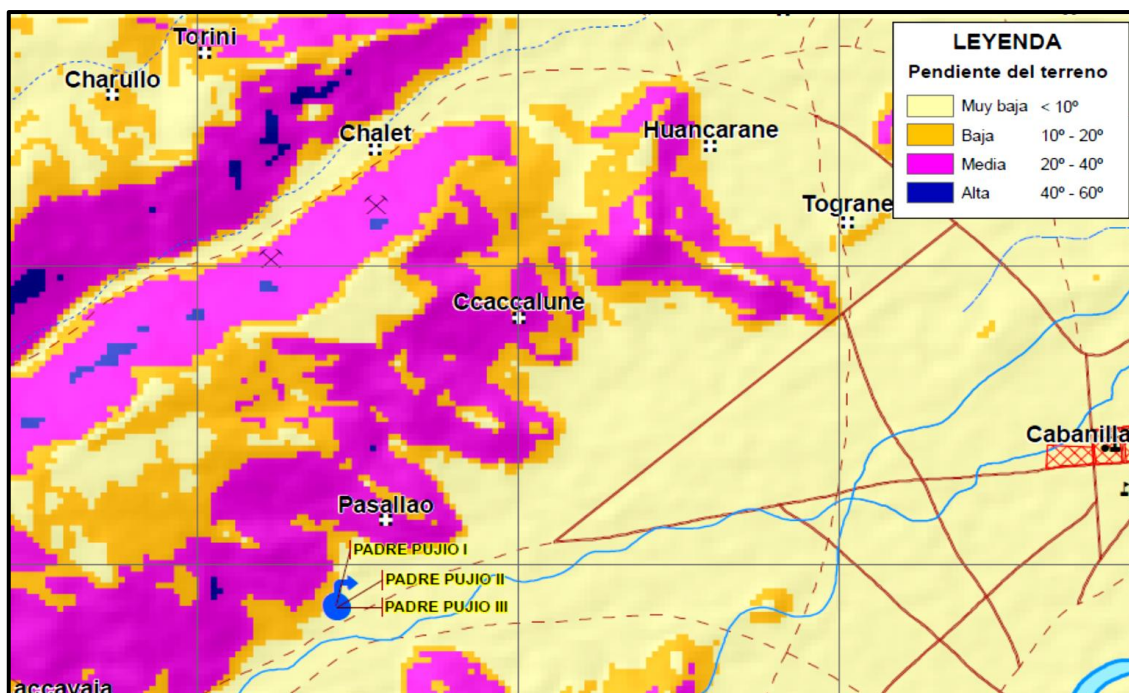
Fuente: elaboración propia

### 3.4.3. Pendiente de la zona de estudio.

Para determinación de la pendiente en la zona de estudio se recurrió el programa ArcGis, teniendo previamente datos obtenido en la zona de estudio.

En el área de estudio predomina la pendiente media que varía entre 20° a 40°, está pendiente no favorece en gran medida a la infiltración al acuífero en épocas de lluvia.

**FIGURA N°8: PENDIENTE DE LA ZONA DE ESTUDIO**



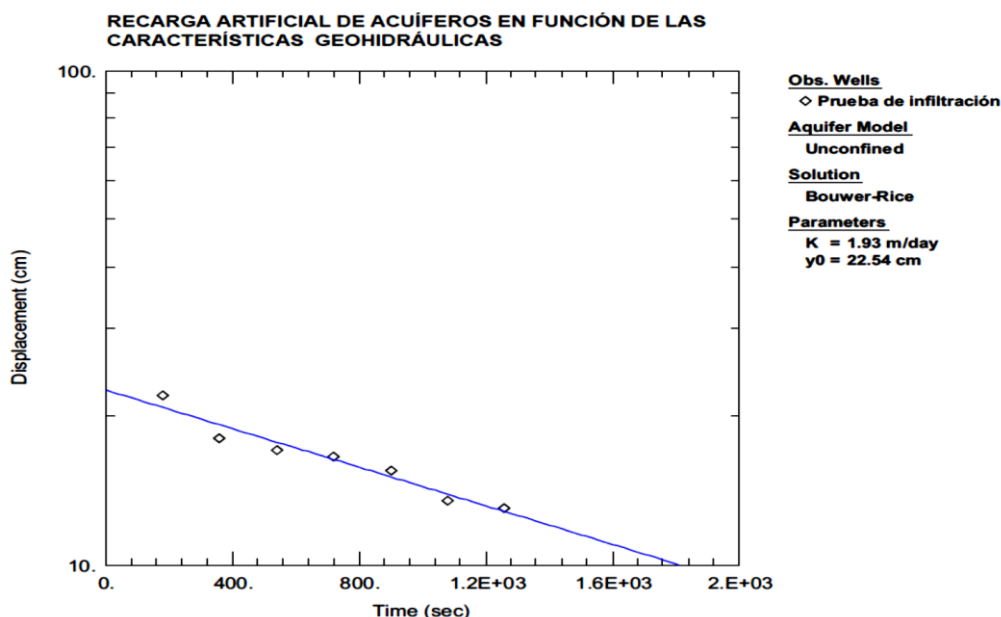
Fuente: elaboración propia

#### 3.4.4. Determinación de la permeabilidad mediante software aqtesolv

#### 4.5.

En el área de estudio se determinó la permeabilidad mediante el método de Lefranc, con los datos obtenidos de las pruebas de infiltración realizadas en el campo se determinó la permeabilidad de suelo en la zona de estudio mediante el software Aqtesolv ver. 4.5.

Teniendo como resultado una permeabilidad de 1.93 m/día, en materiales de areniscas cuarzosas predominante de la zona, la cual constituye el acuífero de interés, lo cual nos indica que tiene una permeabilidad buena.



**RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOHIDRÁULICAS**

DATA Set D:\...\ Collana.aqt

Date: 13/06/2017

**PROJECT INFORMATION**

Company: ESTHER MAMANI Q.

Project: RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOHIDRÁULICAS

Locati3n: DISTRITO CABANILLA - LAMPA

Test well: Prueba de infiltraci3n

Test Date: 17/04/2017

**ACUIFER DATA**

Saturated Thickness: 60 cm

Anisotropy Ratio (kz/kr) : 1

Lithology: Secuencias de areniscas cuarzosas

Training: Grupo Cabanillas

grises de grano medio, muy compactas que se van intercalando con lutitas grises, alteradas y fracturadas.

**WELL DATA**

Initial Displacement :

Static water column height : 60 cm

Penetration Depth : 1 cm

Pipe length : 60 cm

Casing Radius : 2.54 cm

Diameter : 5.08 cm

**SOLUTION**

Acuifer Model : Unconfined

Solution Method: Bouwer-Rice

**K = 1.93 m/dia**

**y0 = 22.54 cm**

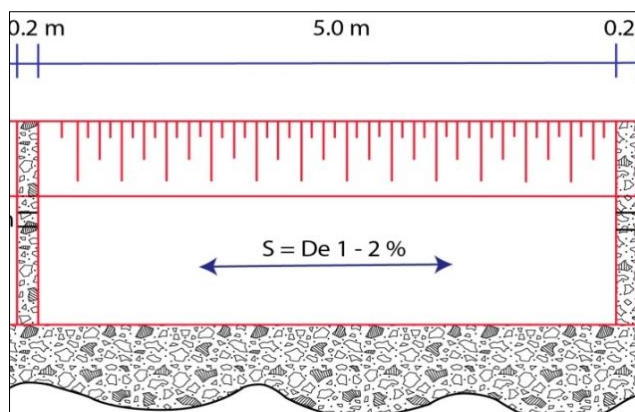
**3.4.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZANJA DE INFILTRACI3N.**

Seg3n MINAGRI (2014); Para minimizar los riesgos de desborde de las zanjas, cuando 3stas son muy largas, se dejan tabiques a lo largo de la zanja. As3



la zanja queda dividida en numerosas secciones que almacenan el agua de escorrentía y de lluvia, facilitando al máximo la infiltración del agua. Basando nos en los conceptos de MINAGRI elegimos una longitud de zanja de 5 metros.

FIGURA N° 9: LONGITUD DE LA ZANJA



Fuente: elaboración propia

#### 3.4.6. La base y altura de la zanja de infiltración.

Según MINAGRI (2014); Las dimensiones de la sección transversal de las zanjas pueden variar con el clima, la pendiente, el tipo de suelo y la vegetación. Considerando lo mencionado, para la zona de estudio se dimensiona un ancho de base de 0.5 m y una profundidad de 0.40 m. geológicamente el grupo Cabanillas está constituido predominantemente por areniscas cuarzosas y niveles de limo arcillosos y en partes limo arenoso, con presencia de lutitas grises, alteradas y fracturadas con laminación paralela intercalada con areniscas cuarzosas grises de grano medio, muy compactadas que van intercalando con lutitas grises. Por lo tanto; para una recarga eficiente, que pueda atravesar el componente litológico semipermeable requiere que las zanjas sean más profundas.

### 3.5. DISEÑO DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Según Peña, Charca & Condori, 2015; Las zanjas de infiltración deben responder a la cantidad de agua de lluvia que cae a la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. Es decir, la capacidad de escurrimiento e infiltración no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan.

Según Flores Villanelo, 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 impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja.

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

$V_{ai}$  : Volumen de aportación zona de impluvio  $m^3$

$V_{cz}$  : Volumen de captura zona de zanjas ( $m^3 / hr$ ).

$V_{in}$  : Volumen de infiltración de la zanja ( $m^3 / hr$ )

#### 1. Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio

$$V_{ai} = P \times S \times e$$

Dónde:

$P$  : Precipitación

$S$  : Superficie de captación

$e$  : Coeficiente de escurrimiento

## a) Precipitación

$P = 141.36 \text{ mm}$ ; durante una hora, para un periodo de 500 años.

Ver Anexo

$P = 0.141 \text{ m}$ ; durante una hora para un periodo de 500 años

## b) Superficie de captación

$$S : l \times d$$

Largo ( $l$ ) = 5

Espaciamiento = 2.2

Base = 0.5

Distanciamiento ( $d$ ) = 2.7

$$\Rightarrow S : 13.50m^2$$

## c) Coeficiente de escorrentía

$e = 0.6$  Según Tabla de Ven TE Chow, Hidrología Aplicada, en suelos con una pendiente mayores a 7% y periodo de retorno con 500 años

Reemplazando valores en;

$$V_{ai} = P \times S \times e$$

$$\therefore V_{ai} = 1.14$$

## 2. Determinación del volumen de Captura zona de zanjas (m3)

$$V_{cz} = b \times h \times l$$

Dónde:

$$b = 0.50m \text{ (Base de la zanja)}$$

$$h = 0.40m \text{ (Altura de zanja) y}$$

$$l = 5.00m \text{ (Largo de la zanja)}$$

Reemplazando valores en;

$$V_{cz} = b \times h \times l$$

$$\therefore V_{cz} = 1.00m^3$$

### 3. Determinación de la infiltración de la zanja ( $m^3 / hr$ )

$$V_{in} = b \times v \times l$$

Dónde:

$$b = 0.50m \text{ (Base de la zanja)}$$

$$v = 1.93m / dia = 0.08m / hora \text{ (Velocidad de infiltración de la zanja)}$$

$$l = 5.00m \text{ (Largo de la zanja)}$$

Reemplazando los valores en;

$$V_{in} = b \times v \times l$$

$$\therefore V_{in} = 0.20m^3 / hr$$

### 4. Condición para la verificación del diseño de zanja

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

$$1.14 \leq 1.00 + 0.20$$

$$1.14 \leq 1.20$$

$$1.14 \leq 1.20$$

$\therefore$  Si cumple con la condición



**5. Calculo de distanciamiento corregido entre zanjas (d)**

$$d = \frac{b \times (h + v)}{P \times e}$$

$$d = 13.74$$

Espaciamiento = 12.99 = **13 metros**

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es oportuno suponer que un incremento en la infiltración de agua en el suelo mediante una obra de captura de aguas de precipitaciones pluviales, aumenta las disponibilidades de agua para el consumo domésticos y para el uso de las plantas, lo que posibilita una vegetación más abundante (Alaerts, 2009; verbist, 2011).

Esta mayor biomasa protege al suelo de la erosión, producto de reducir el impacto de la gota de lluvia en el suelo y un menor escurrimiento superficial de material particulado. Por otra parte, surge la inquietud de construir zanjas más pequeñas, pero más cercanas entre ellas contribuyendo a reducir la longitud de ladera, obteniendo una menor producción de sedimentos. se requiere dilucidar el efecto de una obra como las zanjas de infiltración en el contenido de humedad del suelo y en la captura de sedimentos, mediante mediciones de campo de estas variables para distintos tipos de suelos ubicados en la zona subhúmeda de Chile central. en la búsqueda de la eficacia de las zanjas; el número, el tamaño y la disposición de las obras de infiltración deberían estar determinadas por un balance hídrico de ladera (Pizarro et al., 2008).

#### 4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN DE ACUÍFEROS

Para el diseño de las zanjas de infiltración se tiene las siguientes especificaciones técnicas las cuales van desde La correcta aplicación de tratamientos y técnicas de conservación de suelo en áreas erosionadas, es

necesario en primer lugar poseer un conocimiento de los factores causantes de la erosión, a partir de la comprensión de dicho proceso y su análisis en cada situación en particular, se podrá afrontar correctamente un plan de conservación de suelo la cual es importante a la hora del diseño, si no se tomaría en cuenta esto tendríamos graves problemas a la hora de plasmarlo el diseño. Para el presente estudio se ha tomado en cuenta los siguientes factores importantes:

**Precipitaciones:** Es el factor climático más importante en causar la erosión de los suelos. Cuando la cantidad de agua de lluvia excede a la capacidad de absorción o infiltración. El agua de exceso fluye sobre la superficie, esta es la llamada escorrentía superficial, la cual se define como aquella parte de la precipitación que llega a la red hidrográfica de la cuenca y escurre por ella dando lugar a los caudales líquidos (López et al,1994), la que en conjunto con el efecto de la gota de lluvia generan la Erosión. Los factores que intervienen en la escorrentía son la cantidad,

Intensidad y duración de las lluvias, además de la distribución debe las precipitaciones respecto del tiempo lo cual determina las condiciones precedentes de humedad del suelo.

De estos el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y por ende a la erosión, es la intensidad.

Es importante señalar además que zonas en que la precipitación anual se distribuye en un período de tiempo mayor y de forma homogénea desarrolla una vegetación más exuberante que aquellas zonas con precipitaciones concentradas en un corto período del año, quedando de esta forma, este último suelo mayormente expuesto a la acción erosiva del agua.

Relieve: Este factor tiene un efecto directo sobre la erosión tanto el macrorelieve como el microrelieve, destacando de manera especial las características del macrorelieve pendiente del terreno, factor preponderante en el desarrollo de la erosión, tanto la velocidad como la energía erosiva de la escorrentía superficial se ve fuertemente afectada por tanto la inclinación como por la longitud de la pendiente. De manera de apreciar los efectos de estos factores Suarez de Castro (1979) explica en forma teórica las relaciones entre la pendiente y la magnitud de la velocidad del agua y su correspondiente poder erosivo de la siguiente forma

La velocidad varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical (longitud e inclinación) que ella recorre y su capacidad erosiva, de acuerdo con el cuadrado de la velocidad. Es decir, si la pendiente del terreno se aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica. La cantidad de material de determinado tamaño que puede arrastrar varía con la quinta potencia de la velocidad del flujo. El tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamiento varía con la sexta potencia de la velocidad del agua. De manera que si se duplica la velocidad de la escorrentía la cantidad de material de determinado tamaño que puede transportarse, se aumenta 32 veces y el tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamientos se aumenta 64 veces.

Si bien entendemos que estos datos son solo una conceptualización de la realidad, nos muestran la importancia que ejerce este factor sobre la erosión, del mismo modo la relevancia de poder reducir cualquiera de las características de la pendiente, lo que permitirá la depositación de las partículas de suelo desplazada por la acción del agua.

Suelo: Los factores anteriormente descritos actúan de distinta manera según sea el suelo, debido a que las características tanto física como química, determinan la capacidad del suelo a infiltrar y retener agua, así como la resistencia que ofrece éste a la acción erosiva del agua, por lo cual es importante caracterizar y conocer las características edáficas que influyen en la ocurrencia de escorrentía superficial y en la erodabilidad, tales como profundidad, textura, contenido de materia orgánica, estructura, permeabilidad entre otras.

## **4.2. DISEÑO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN EN FUNCION A LA GEOHIDRAULICA**

### **4.2.1. Ubicación de la zanja de infiltración**

Según (Peña, Charca, & Condori, 2015) Las técnicas de recarga artificial, se puede practicar en cualquier tipo de formación geológica que sea permeable y que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua subterránea. Para proponer un sistema de recarga artificial de acuíferos es importante conocer las características morfológicas e hidrogeológicas de los materiales a recargar, que nos permitirá realizar diseños adecuados de las técnicas de recarga. Para ubicar las zanjas de infiltración es necesario que exista una capa superficial de material no consolidado (suelo) que permita su emplazamiento y distribución.

Según la morfología y litología de la zona de estudio se ubicó la fuente de recarga en la parte alta del manantial poli-surgente Collana Cabanilla, la cual tiene una pendiente de 40%, esto significa que tiene una pendiente moderada.

Según el estudio realizado se trazarán las zanjas de infiltración en los afloramientos rocosos, porque (según las pruebas de campo) tienen mayor

conductividad hidráulica que los suelos y por ende mayor capacidad de infiltración. Para las zanjas de infiltración, se debe trazar preferentemente sobre afloramientos rocosos y en menor proporción sobre suelos (dado que la profundidad del canal es más corta).

#### **4.1.2. Pendiente de la zanja de infiltración.**

Las zanjas de infiltración deben ser transversales a la máxima pendiente del terreno, deben tener una pendiente de 1% (hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno). En el sector de estudio las zanjas deben tener una dirección preferencial de NE-SO.

La permeabilidad influye en gran manera a la hora de determinar la pendiente de la zanja de infiltración.

#### **4.1.3. Dimensionamiento de la Longitud de la zanja**

El dimensionamiento de la longitud de la zanja se realizó en base a la geología de la zona de estudio, la cual se dimensiono; longitud de la zanja de infiltración es de 5 metros y espaciamento lateral entre zanjas es de 0.2 metros para luego dar la validar el dato se pasó a comprobar con la ecuación de principio de diseño de zanjas de infiltración, en la cual si cumple dicha condición.

#### **4.1.4. Distanciamiento entre zanjas.**

En nuestro análisis ( $T_r=500$ ) el intervalo de distanciamiento entre zanjas para este tipo de suelo y la topografía citada va de 10 a 13 metros entre ellas, en el espacio lateral que existe, entre una zanja y otra, debe excavarse un paso o canaleta hasta una apertura de 10 cm.

#### **4.1.5. La base y altura de la zanja de infiltración.**

La zanja de infiltración tiene una sección; ancho de base de 0.5 m y una profundidad de 0.40 m.

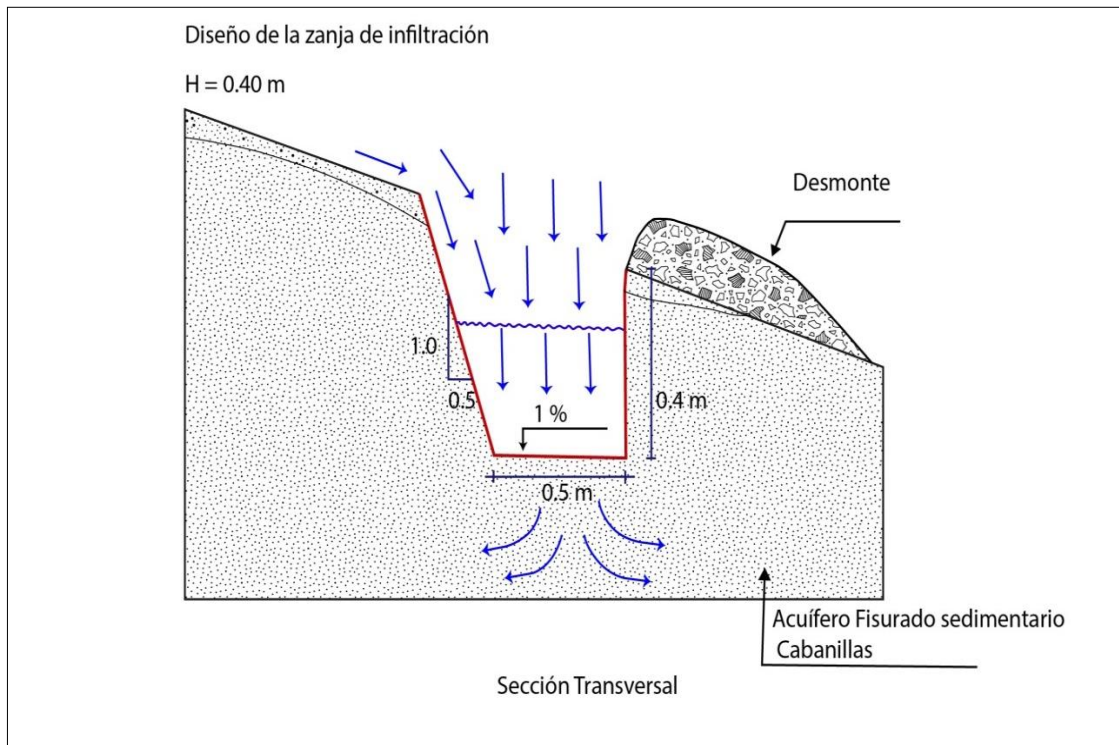
Estos datos se determinaron de acuerdo al dimensionamiento en función a la geología de la zona de estudio y la cual ha sido comprobado por el principio de diseño de las zanjas de infiltración.

#### **4.1.6. DISEÑO DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN**

Siguiendo la metodología, se calculó la lluvia de diseño con un período de retorno de 500 años mediante la ecuación IDF de Témez. El distanciamiento entre zanjas dependerá de las condiciones de suelo, clima y topografía con un volumen promedio de 1.00 m<sup>3</sup> por zanja.

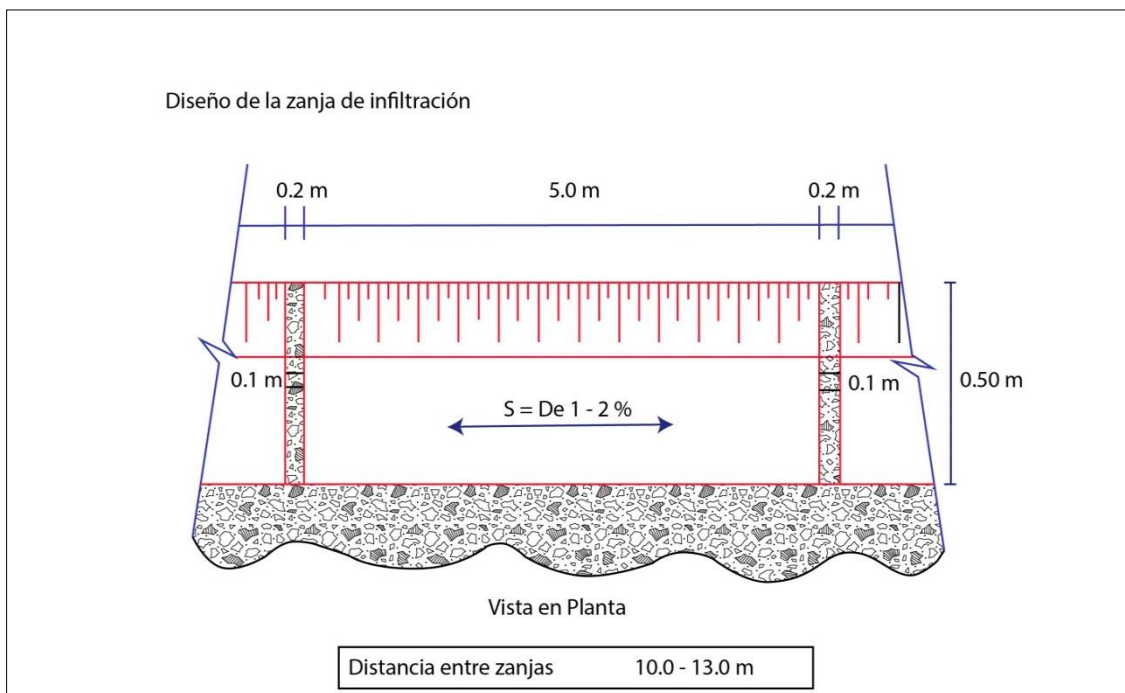
También se determinó el coeficiente de escurrimiento de la zona que es de 0.60, la intensidad máxima de precipitación, determinación de la permeabilidad, y el dimensionamiento de la zanja, se reemplazó los resultados obtenidos de lo mencionado para finalmente obtener un diseño adecuado para la zona de estudio ver la figura 10 y 11.

**FIGURA 10: DISEÑO DE ZANJA DE INFILTRACIÓN SECCIÓN TRANSVERSAL**



Fuente: elaboración propia

**FIGURA 11: DE DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN EN PLANTA**



Fuente: elaboración propia



## CONCLUSIONES

Se estimó que la permeabilidad del suelo en la zona de estudio es de 1.93 m/día, lo cual nos indica que tiene una buena permeabilidad y geológicamente esta conformada con la presencia de lutitas gris oscuras con laminación paralela intercalada con arenisca cuarzosa de grano fino a medio.

La precipitación en la zona propuesta para la recarga, varía entre 663.43 mm y 938.70 mm. La intensidad con una duración de 60 minutos para 500 años es de 141.36 mm/hr y el coeficiente de escorrentía que es de 0.60 para la zona de estudio, Interpretando y reemplazando valores se obtuvo el siguiente resultado, el volumen de aportación a la zona impluvio es de 1.14 m<sup>3</sup>, la cual es menor al volumen de captura en la zanja más el volumen de infiltración de la zanja, el cual tiene un valor de 1.2, por lo que se concluye que cumple condición del principio fundamental.

El dimensionamiento de la zanja se ha realizado en función a la geología de la zona de estudio, la cual tiene como pendiente de 20° a 40°. A su vez la zanja tendrá una pendiente de 1% a 2% de acuerdo topografía de terreno, con una sección de ancho de base de 0.5 metros, altura de 0.4 metros, con una longitud de 5 metros y espaciamiento 13 metros. En conclusión el diseño de zanjas de infiltración se ha diseñado en función directa a la geología, intensidad, duración, permeabilidad y coeficiente de escorrentía.

## RECOMENDACIONES

Para el diseño de la zanja de infiltración se recomienda que se cumpla con el principio fundamental; la cantidad de agua de lluvia que cae a la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo.

Se recomienda realizar las obras de recarga artificial de acuerdo al diseño planteado, para zanjas de infiltración, respetando las dimensiones y adecuando a la topografía del terreno; además tener en cuenta que el trabajo se debe realizar antes de la época de lluvias.

Para que la infiltración sea eficiente se recomienda una limpieza anual de zanjas, es decir, para mejorar y mantener la eficiencia en la recarga se debe hacer limpieza de zanjas antes que comience la época de lluvias (entre julio y setiembre), de tal manera que las primeras lluvias sean retenidas en las zanjas y generen suficientes caudales de infiltración.

## REFERENCIAS

- Agüero Pittman, R. (1997). Agua potable para poblaciones Rurales. Lima: SER.
- Aguero, P. R. (1997). Agua potable para poblaciones Rurales. Lima Peru: SER.
- Apaza Idme, D., Arroyo Hurtado, R., & Alencastre Calderon, A. (2006). Las amunas de Huarochirí "recarga de acuíferos en los andes". Lima.
- Arocha, R. (1980). Abastecimiento de agua (teoría y diseño). Caracas, Venezuela: vegas.
- Alcántara Salazar, G. (29 de 07 de 2013). Inclusión social del campesino peruano con "poncho verde" y "cosecha del agua". Lima.
- Carlson, P. (1990). Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Editorial Cormen, Quito - Ecuador. , pp. 24-111.
- Custodio, Emilio, & Llamas, M. (1996). Hidrología subterránea. Barcelona.
- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Santiago ( Chile): ISBN FAO .
- Flores Villanelo, J. P. (diciembre de 2004). diseño de zanjas de infiltración bajo criterios de ingeniería hidrológica. Talca.
- FONCODES. (Octubre de 2015). Siembra y cosecha de agua. Lima, Perú: Unidad de comunicación e imagen - FONCODES.
- GIAAF. (s.f.). Las "amunas" para siembra y cosecha de agua. Huarochiri, peru.
- Gonzales Aliaga, R., & Lopez Ramirez, A. (2015). Informe final del Area de geología region Puno. Puno.
- Ibañez Asencio, S., Gisbert Blanquer, J. M., & Moreno Román, H. (s.f.). la pendiente del terreno.
- INRENA. (2007). Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca de los ríos Cabanillas y Lampa.
- Jurado, A. R. (Noviembre de 2013). Programa de desarrollo territorial y generación de empleo en la cuenca del río Lurín (evaluación final). Lima.
- Lopez Zans, G., & Molina Cantos, R. (2011). Confederación Hidrográfica del Júcar. Mapas. Unidades de Demanda Agraria. La Mancha.
- MINAGRI. (agosto de 2014). Zanjas de infiltración. Ayacucho, Peru: Grafica Bracamonte .

- Ordoñez Galvez, J. J. (2011). Cartilla tecnica: Aguas subterranas - acuíferos. Lima: Zaniel I. Novoa Goicochea.
- Peña Laureano, F., Charca Huaricallo, M. A., & Condori Quispe, E. (2015). Inspección hidrogeológica para la recarga artificial de acuíferos, en la subcuenca Santa Eulalia. Lima.
- Sukia Irastortza, J. (07 de mayo de 2009). Recarga de acuíferos mediante agua de lluvia. Barcelona.
- UNESCO. (2000). Estrategias para la gestión de recarga de acuíferos en zonas semiáridas.
- UNESCO. (2006). Guía metodológica para la elaboración de mapas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Uruguay.
- Wikipedia. (01 de MARZO de 2017). Wikipedia. Recuperado el 04 de JULIO de 2017,  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Caudal\\_\(fluido\)&oldid=97235382](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Caudal_(fluido)&oldid=97235382)»
- Fuente:<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/>

## ANEXO

**LAMINA 01:** MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

**LAMINA 02:** MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

**LAMINA 03:** MAPA GEOLOGICO CON PROPUESTA DE RECARGA ARTIFICIAL CON  
DISEÑO DE ZANJAS DE INFILTRACION.

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Máximo	
1964	46	107.8	142.6	41	13	0	0	0	1.5	27.4	59	77.1	143	mar
1965	157.6	105.6	97.2	74.4	5	0	0	0	14.2	23.2	30.8	165.2	165	dic
1966	73.5	156.2	81.5	3.1	31	0	0	1	9.5	21.9	49	60.7	156	feb
1967	71.2	92.8	148.9	7.3	13.7	0.6	9.5	15.6	40	31.8	4.2	131	149	mar
1968	95.7	168.5	52.4	8.7	16.1	3.9	2.2	0	21.6	41.9	135.7	56.1	169	feb
1969	167.4	94.3	55.5	23.4	0	0.6	3	0	4.4	16.1	59.3	41.3	167	ene
1970	86.7	121.4	144.9	25.7	3.6	0	0	0	13.3	24.8	11.9	124.4	145	mar
1971	91.5	218.3	29.1	15.2	11	0	0	4	0	11.8	56.8	87	218	feb
1972	224.8	85.9	181.9	36.3	6.2	0	0	0.6	32	32.2	33.8	92.9	225	ene
1973	199.4	128.8	124.8	85	12.4	0	2.1	1.3	46.1	12.9	24	93.3	199	ene
1974	240.5	232.3	76.5	53.6	0	0	0	53.2	27.6	20.5	48.1	87.4	241	ene
1975	134.3	193.5	107.4	22.1	23.5	0	0	0	13.1	34.1	17	212.8	213	dic
1976	165.1	135.6	130.6	18.4	2	1.9	1.3	3.9	41.8	4.3	9.7	65.1	165	ener
1977	70.3	166.6	173.2	28.5	0	0	0	0	23.1	33.4	118.5	168.2	173	mar
1978	267.8	155.5	117.8	37.3	0	0	0	0	5.9	14.2	72.5	160.8	268	ene
1979	203.6	125	71.9	52	3.9	0	0.6	1.2	3.1	33.9	42.4	122.5	204	ene
1980	60.8	84.7	168.4	8.1	4.9	0	1.8	32.7	38.6	51.7	57	46.3	168	mar
1981	125.3	148.8	161.2	47.9	0	0	1	22.2	10	18.6	36.7	36.6	161	mar
1982	103.7	116	112.2	37.5	7	1	2.5	6.5	48.2	90.5	35.5	23	116	feb
1983	26	32	17.5	8.1	6	2.8	0	3	9	15	30.5	69	69	dic
1984	212.8	237.1	126	33.5	21.4	0	3	9	7.5	41.5	89.4	71.5	237	feb
1985	115.5	180.6	95.5	96.7	6	22	0	3	30.5	38	100	142.5	181	feb
1986	131.2	234.1	168.7	95.7	1.3	0	11	1.5	26	6.5	31.4	134.7	234	feb
1987	158.8	79.1	54.6	9.7	0	0.9	7.6	1.5	9	27.7	111.6	69.6	159	ene
1988	273.6	93.2	155.4	67.2	17.4	0	0	0	21.9	56	0	142.8	274	ene
1989	194.6	52.8	91.8	88.4	0	1.4	0	4.8	6	3.3	40	53.6	195	ene
1990	172.5	23.4	49.2	13.5	2.4	34.3	0	9.8	1	112.6	130	101.9	173	ene
1991	106.4	144.1	115.2	70.1	5.8	35.6	0	0	6.3	13.8	27.4	59.6	144	feb
1992	106.8	75.1	28.5	8.5	0	2.7	2.2	31.1	0	47.5	27.2	64.9	107	ene
1993	147.2	67.8	96.3	69.5	3	0	0	26.3	9.5	113.4	83	117.4	147	ene
1994	133.8	105.2	162.1	110.2	0	0	0	0	6.5	14.3	51.2	98	162	mar
1995	125.8	70.6	100.2	5	0	0	0	0.2	16.6	9.9	32.8	55.3	126	ene
1996	206.3	102.8	56.4	37.7	1.9	0	2	17.6	10.3	14.3	57.8	165.6	206	ene
1997	158.5	242.8	160	75.1	3.7	0	0	22.4	46.5	38	103.3	88.4	243	feb
1998	152	168.4	110.3	16.9	0	0	0	6.3	0	47.7	61.6	42.7	168	feb
1999	95	116.9	112.3	104.4	5.4	0	1.8	1.8	21.9	104	3	95.3	117	feb
2000	134.6	221.9	133.3	31.7	0.6	0	0	6.9	15.8	118.3	13.5	110.4	222	feb
2001	273.9	224.6	78.2	63.9	11.5	0.8	0.4	52.6	36.9	71.3	21.6	16.7	274	ene
2002	93.7	166.9	160.5	125.7	28.7	6.2	16	22.9	8.8	116.3	78	105.3	167	feb
2003	217.2	92.5	116.7	22.1	10.8	2.6	0	0.9	16.9	14	68.1	136.2	217	ene
2004	193	100.1	81.6	34.2	0.5	0.5	7.7	18.4	12.8	2.9	27.4	58.2	193	ene

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Máximo	
2005	75.3	265.7	84	49.7	0	0	0	0.5	5.8	30.6	70.6	79.9	266	feb
2006	230.2	107.3	141.3	49.9	0	0.7	0	2.8	44.2	38	60.2	69	230	ene
2007	68.1	105.4	168.6	67.5	2.4	0	0.8	0	75.4	40.6	97.6	83.9	169	feb
2008	271.6	74.5	65.1	6.3	0	0.2	0	0.6	1.8	34.9	70.1	153.5	272	ene
2009	88.8	119.7	111.4	24.6	0	0	1.6	0.5	1.4	28.4	152.8	91.2	153	nov
2010	147.8	125.3	66.7	28.4	9.6	0	0.5	0	2.4	21.2	35.8	183	183	dic
2011	76.1	182.5	134	41.3	1.7	0	5.1	0	4.1	8.1	86.9	105	183	feb
2012	130.1	238.1	97.6	80.4	0	0	1.7	8.3	2.9	23.4	61.5	214.3	238	feb
2013	111.2	109.6	145.2	14.3	24.3	13.9	2.2	10.7	11.7	35.6	58.4	143.9	145	mar
2014	220.5	104.6	88.5	45.8	0	0	4.7	7.2	46.4	94	37.7	95.5	221	ene
2015	106	143.5	83.5	114.9	4.9	1.8	2.7	10.2	65.7	45.9	41.8	84.7	144	feb
MAX	273.9	265.7	181.9	125.7	31	35.6	16	53.2	75.4	118.3	152.8	214.3	273.9	

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			xi	(xi - x)^2
1	1964	mar	142.6	1863.7485
2	1965	dic	165.2	423.17237
3	1966	feb	156.2	874.45314
4	1967	mar	148.9	1359.482
5	1968	feb	168.5	298.29276
6	1969	ene	167.4	337.49929
7	1970	mar	144.9	1670.4512
8	1971	feb	218.3	1058.1258
9	1972	ene	224.8	1523.2508
10	1973	ene	199.4	185.74545
11	1974	ene	240.5	2995.2466
12	1975	dic	212.8	730.55852
13	1976	ener	165.1	427.2966
14	1977	mar	173.2	158.03391
15	1978	ene	267.8	6728.7316
16	1979	ene	203.6	317.86776
17	1980	mar	168.4	301.75699
18	1981	mar	161.2	603.7416
19	1982	feb	116	4868.0139
20	1983	dic	69	13635.502
21	1984	feb	237.1	2634.6505
22	1985	feb	180.6	26.740832
23	1986	feb	234.1	2335.6774
24	1987	ene	158.8	727.44314
25	1988	ene	273.6	7713.9062
26	1989	ene	194.6	77.948524

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			xi	(xi - x)^2
27	1990	ene	172.5	176.12352
28	1991	feb	144.1	1736.4851
29	1992	ene	106.8	6236.4431
30	1993	ene	147.2	1487.7339
31	1994	mar	162.1	560.32352
32	1995	ene	125.8	3596.5393
33	1996	ene	206.3	421.43352
34	1997	feb	242.8	3252.2893
35	1998	feb	168.4	301.75699
36	1999	feb	116.9	4743.2358
37	2000	feb	221.9	1305.2935
38	2001	ene	273.9	7766.6935
39	2002	feb	166.9	356.12045
40	2003	ene	217.2	987.77237
41	2004	ene	193	52.256217
42	2005	feb	265.7	6388.6205
43	2006	ene	230.2	1973.9224
44	2007	feb	168.6	294.84852
45	2008	ene	271.6	7366.5908
46	2009	nov	152.8	1087.097
47	2010	dic	183	7.6792936
48	2011	feb	182.5	10.700448
49	2012	feb	238.1	2738.3081
50	2013	mar	145.2	1646.0185
51	2014	ene	220.5	1206.0928
52	2015	feb	143.5	1786.8505
53	Suma		9660	111364.6

Cálculo variables probabilísticas	Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias																																													
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 185.77 \text{ mm}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Período Retorno</th> <th>Variable Reducida</th> <th>Precip. (mm)</th> <th>Prob. de ocurrencia</th> <th>Corrección intervalo fijo</th> </tr> <tr> <th>Años</th> <th>YT</th> <th>XT'(mm)</th> <th>F(xT)</th> <th>XT (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>0.3665</td><td>178.0949</td><td>0.5000</td><td>201.2472</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.4999</td><td>219.3908</td><td>0.8000</td><td>247.9116</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.2504</td><td>246.7324</td><td>0.9000</td><td>278.8076</td></tr> <tr><td>25</td><td>3.1985</td><td>281.2785</td><td>0.9600</td><td>317.8447</td></tr> <tr><td>50</td><td>3.9019</td><td>306.9067</td><td>0.9800</td><td>346.8046</td></tr> <tr><td>100</td><td>4.6001</td><td>332.3458</td><td>0.9900</td><td>375.5507</td></tr> <tr><td>500</td><td>6.2136</td><td>391.1315</td><td>0.9980</td><td>441.9786</td></tr> </tbody> </table>	Período Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo	Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)	2	0.3665	178.0949	0.5000	201.2472	5	1.4999	219.3908	0.8000	247.9116	10	2.2504	246.7324	0.9000	278.8076	25	3.1985	281.2785	0.9600	317.8447	50	3.9019	306.9067	0.9800	346.8046	100	4.6001	332.3458	0.9900	375.5507	500	6.2136	391.1315	0.9980	441.9786
Período Retorno		Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo																																									
Años		YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)																																									
2		0.3665	178.0949	0.5000	201.2472																																									
5		1.4999	219.3908	0.8000	247.9116																																									
10	2.2504	246.7324	0.9000	278.8076																																										
25	3.1985	281.2785	0.9600	317.8447																																										
50	3.9019	306.9067	0.9800	346.8046																																										
100	4.6001	332.3458	0.9900	375.5507																																										
500	6.2136	391.1315	0.9980	441.9786																																										
$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 46.73 \text{ mm}$																																														
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 36.43 \text{ mm}$																																														
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 164.74 \text{ mm}$																																														
	$F_{(x)} = e^{-e^{\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$																																													



Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	201.2472	247.9116	278.8076	317.8447	346.8046	375.5507	441.9786
18 hr	X18 = 91%	183.1349	225.5996	253.7149	254.2757	315.5922	341.7511	402.2005
12 hr	X12 = 80%	160.9977	198.3293	223.0461	254.2757	277.4437	300.4406	353.5829
8 hr	X8 = 68%	136.8481	168.5799	189.5891	216.1344	235.8271	255.3745	300.5454
6 hr	X6 = 61%	122.7608	151.2261	170.0726	193.8852	211.5508	229.0859	269.6069
5 hr	X5 = 57%	114.7109	141.3096	158.9203	181.1715	197.6786	214.0639	251.9278
4 hr	X4 = 52%	104.6485	128.9141	144.9799	165.2792	180.3384	195.2864	229.8289
3 hr	X3 = 46%	92.5737	114.0394	128.2515	146.2085	159.5301	172.7533	203.3101
2 hr	X2 = 39%	78.4864	96.6855	108.7350	123.9594	135.2538	146.4648	172.3716
1 hr	X1 = 30%	60.3742	74.3735	83.6423	95.3534	104.0414	112.6652	132.5936

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]}$$

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	8.3853	10.3297	11.6170	13.2435	14.4502	15.6479	18.4158
18 hr	1080	10.1742	12.5333	14.0953	14.1264	17.5329	18.9862	22.3445
12 hr	720	13.4165	16.5274	18.5872	21.1896	23.1203	25.0367	29.4652
8 hr	480	17.1060	21.0725	23.6986	27.0168	29.4784	31.9218	37.5682
6 hr	360	20.4601	25.2043	28.3454	32.3142	35.2585	38.1810	44.9345
5 hr	300	22.9422	28.2619	31.7841	36.2343	39.5357	42.8128	50.3856
4 hr	240	26.1621	32.2285	36.2450	41.3198	45.0846	48.8216	57.4572
3 hr	180	30.8579	38.0131	42.7505	48.7362	53.1767	57.5844	67.7700
2 hr	120	39.2432	48.3428	54.3675	61.9797	67.6269	73.2324	86.1858
1 hr	60	60.3742	74.3735	83.6423	95.3534	104.0414	112.6652	132.5936

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

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

En la cual:

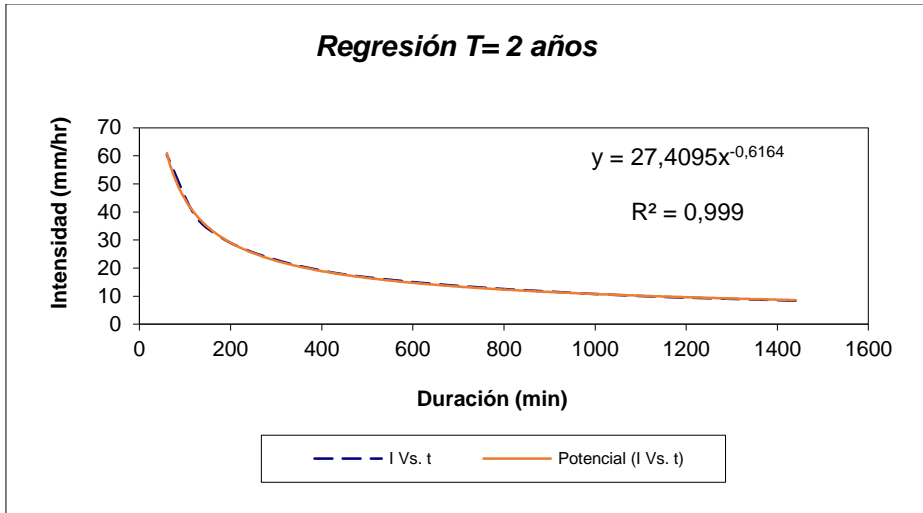
- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Período de retorno (años)
- K, m, n = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:  $d = K \cdot T^m$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

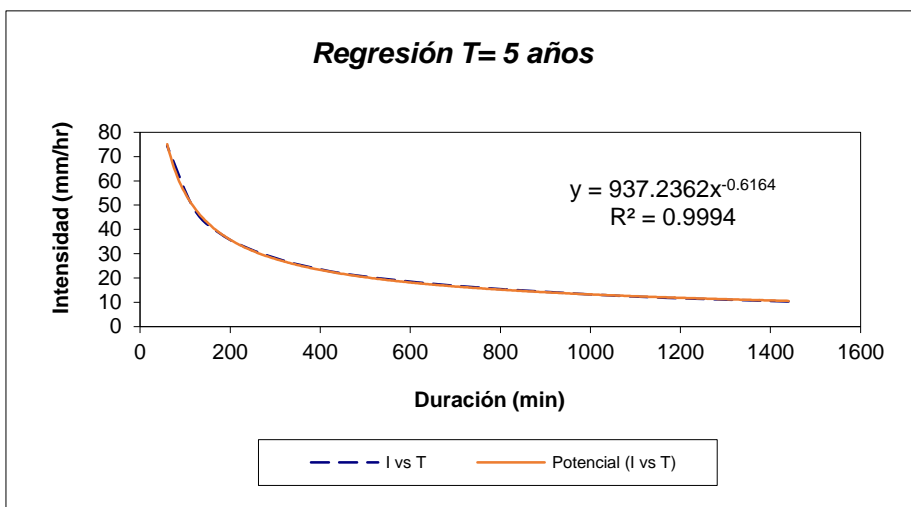
<i>Periodo de retorno para T = 2 años</i>						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	8.3853	7.2724	2.1265	15.4646	52.8878
2	1080	10.1742	6.9847	2.3199	16.2035	48.7863
3	720	13.4165	6.5793	2.5965	17.0829	43.2865
4	480	17.1060	6.1738	2.8394	17.5300	38.1156
5	360	20.4601	5.8861	3.0185	17.7671	34.6462
6	300	22.9422	5.7038	3.1330	17.8698	32.5331
7	240	26.1621	5.4806	3.2643	17.8905	30.0374
8	180	30.8579	5.1930	3.4294	17.8087	26.9668
9	120	39.2432	4.7875	3.6698	17.5690	22.9201
10	60	60.3742	4.0943	4.1006	16.7891	16.7637
10	4980	249.1217	<b>58.1555</b>	<b>30.4977</b>	<b>171.9753</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) = 6.6344</b>		<b>d = 760.8200</b>		<b>n = -0.6164</b>		



Serie T= 2 años	
x	Y
1440	8.3853
1080	10.1742
720	13.4165
480	17.1060
360	20.4601
300	22.9422
240	26.1621
180	30.8579
120	39.2432
60	60.3742

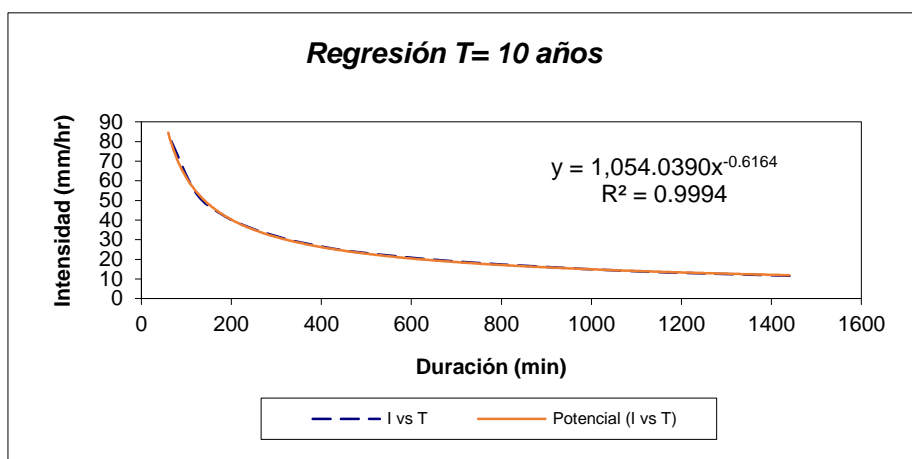
### Periodo de retorno para T = 5 años

Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	10.3297	7.2724	2.3350	16.9812	52.8878
2	1080	12.5333	6.9847	2.5284	17.6601	48.7863
3	720	16.5274	6.5793	2.8050	18.4549	43.2865
4	480	21.0725	6.1738	3.0480	18.8175	38.1156
5	360	25.2043	5.8861	3.2270	18.9946	34.6462
6	300	28.2619	5.7038	3.3415	19.0593	32.5331
7	240	32.2285	5.4806	3.4729	19.0334	30.0374
8	180	38.0131	5.1930	3.6379	18.8916	26.9668
9	120	48.3428	4.7875	3.8783	18.5674	22.9201
10	60	74.3735	4.0943	4.3091	17.6429	16.7637
10	4980	306.8871	58.1555	32.5831	184.1030	346.9435
Ln (d) =	6.8429	d =	937.2362	n =	-0.6164	



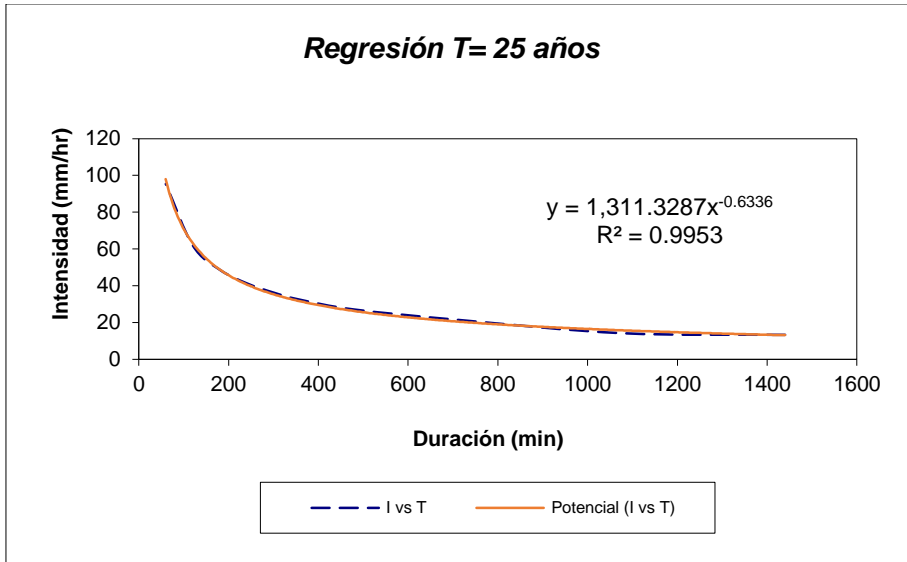
Serie T= 5 años	
x	Y
1440	10.3297
1080	12.5333
720	16.5274
480	21.0725
360	25.2043
300	28.2619
240	32.2285
180	38.0131
120	48.3428
60	74.3735

<b>Periodo de retorno para T = 10 años</b>						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	11.6170	7.2724	2.4525	17.8353	52.8878
2	1080	14.0953	6.9847	2.6458	18.4804	48.7863
3	720	18.5872	6.5793	2.9225	19.2277	43.2865
4	480	23.6986	6.1738	3.1654	19.5426	38.1156
5	360	28.3454	5.8861	3.3445	19.6859	34.6462
6	300	31.7841	5.7038	3.4590	19.7292	32.5331
7	240	36.2450	5.4806	3.5903	19.6771	30.0374
8	180	42.7505	5.1930	3.7554	19.5015	26.9668
9	120	54.3675	4.7875	3.9958	19.1297	22.9201
10	60	83.6423	4.0943	4.4265	18.1238	16.7637
10	4980	345.1328	<b>58.1555</b>	<b>33.7576</b>	<b>190.9333</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) = 6.9604</b>		<b>d = 1054.0390</b>		<b>n = -0.6164</b>		



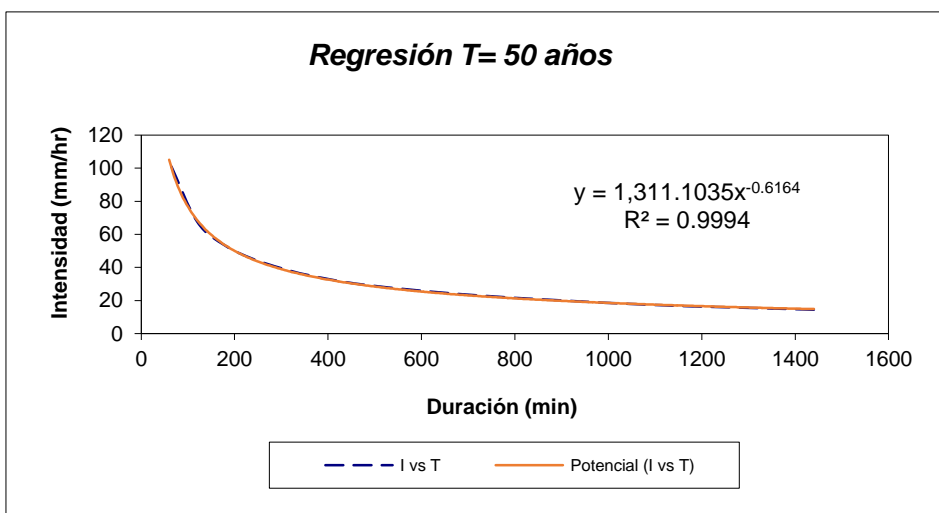
Serie T= 10 años	
x	Y
1440	11.6170
1080	14.0953
720	18.5872
480	23.6986
360	28.3454
300	31.7841
240	36.2450
180	42.7505
120	54.3675
60	83.6423

<b>Periodo de retorno para T = 25 años</b>						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13.2435	7.2724	2.5835	18.7883	52.8878
2	1080	14.1264	6.9847	2.6480	18.4959	48.7863
3	720	21.1896	6.5793	3.0535	20.0898	43.2865
4	480	27.0168	6.1738	3.2965	20.3516	38.1156
5	360	32.3142	5.8861	3.4755	20.4572	34.6462
6	300	36.2343	5.7038	3.5900	20.4766	32.5331
7	240	41.3198	5.4806	3.7213	20.3953	30.0374
8	180	48.7362	5.1930	3.8864	20.1820	26.9668
9	120	61.9797	4.7875	4.1268	19.7571	22.9201
10	60	95.3534	4.0943	4.5576	18.6603	16.7637
10	4980	391.5140	<b>58.1555</b>	<b>34.9392</b>	<b>197.6542</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) = 7.1788</b>		<b>d = 1311.3287</b>		<b>n = -0.6336</b>		



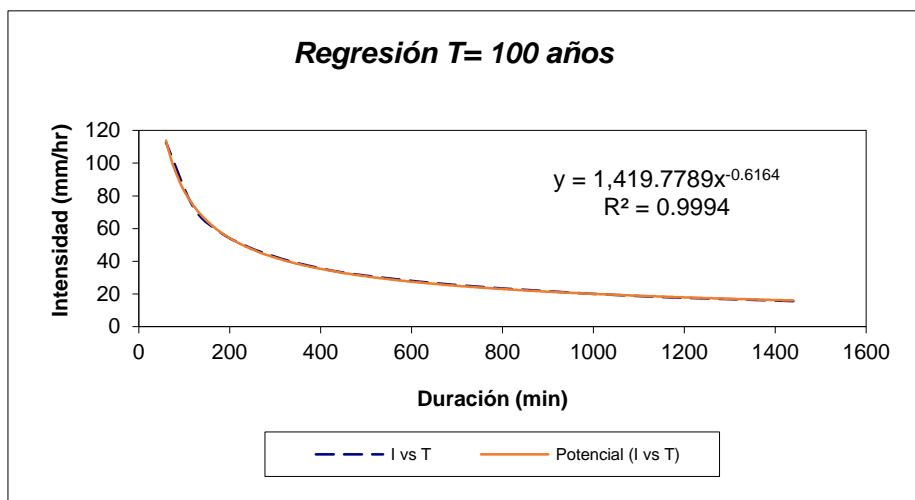
Serie T= 25 años	
x	Y
1440	13.2435
1080	14.1264
720	21.1896
480	27.0168
360	32.3142
300	36.2343
240	41.3198
180	48.7362
120	61.9797
60	95.3534

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14.4502	7.2724	2.6707	19.4225	52.8878
2	1080	17.5329	6.9847	2.8641	20.0048	48.7863
3	720	23.1203	6.5793	3.1407	20.6635	43.2865
4	480	29.4784	6.1738	3.3837	20.8900	38.1156
5	360	35.2585	5.8861	3.5627	20.9705	34.6462
6	300	39.5357	5.7038	3.6772	20.9740	32.5331
7	240	45.0846	5.4806	3.8085	20.8732	30.0374
8	180	53.1767	5.1930	3.9736	20.6348	26.9668
9	120	67.6269	4.7875	4.2140	20.1745	22.9201
10	60	104.0414	4.0943	4.6448	19.0174	16.7637
10	4980	429.3056	58.1555	35.9400	203.6251	346.9435
<b>Ln (d) = 7.1786</b>		<b>d = 1311.1035</b>		<b>n = -0.6164</b>		



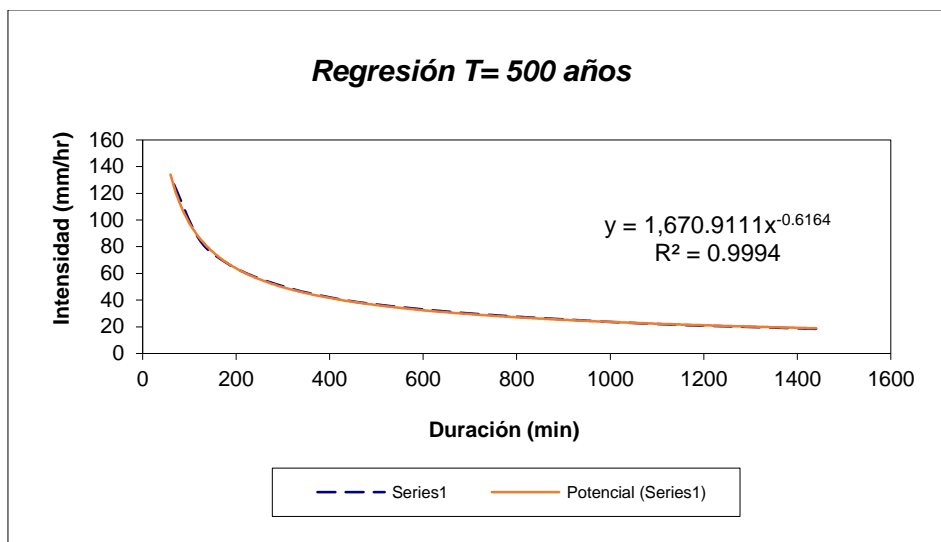
Serie T= 50 años	
x	Y
1440	14.4502
1080	17.5329
720	23.1203
480	29.4784
360	35.2585
300	39.5357
240	45.0846
180	53.1767
120	67.6269
60	104.0414

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15.6479	7.2724	2.7503	20.0016	52.8878
2	1080	18.9862	6.9847	2.9437	20.5610	48.7863
3	720	25.0367	6.5793	3.2203	21.1874	43.2865
4	480	31.9218	6.1738	3.4633	21.3816	38.1156
5	360	38.1810	5.8861	3.6423	21.4392	34.6462
6	300	42.8128	5.7038	3.7568	21.4282	32.5331
7	240	48.8216	5.4806	3.8882	21.3097	30.0374
8	180	57.5844	5.1930	4.0533	21.0484	26.9668
9	120	73.2324	4.7875	4.2936	20.5558	22.9201
10	60	112.6652	4.0943	4.7244	19.3434	16.7637
<b>10</b>	<b>4980</b>	<b>464.8900</b>	<b>58.1555</b>	<b>36.7363</b>	<b>208.2562</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) =</b>	<b>7.2583</b>	<b>d =</b>	<b>1419.7789</b>	<b>n =</b>	<b>-0.6164</b>	



Serie T= 100 años	
x	Y
1440	15.6479
1080	18.9862
720	25.0367
480	31.9218
360	38.1810
300	42.8128
240	48.8216
180	57.5844
120	73.2324
60	112.6652

Periodo de retorno para T = 500 años						
Nº	X	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18.4158	7.2724	2.9132	21.1860	52.8878
2	1080	22.3445	6.9847	3.1066	21.6986	48.7863
3	720	29.4652	6.5793	3.3832	22.2590	43.2865
4	480	37.5682	6.1738	3.6262	22.3871	38.1156
5	360	44.9345	5.8861	3.8052	22.3978	34.6462
6	300	50.3856	5.7038	3.9197	22.3571	32.5331
7	240	57.4572	5.4806	4.0510	22.2023	30.0374
8	180	67.7700	5.1930	4.2161	21.8941	26.9668
9	120	86.1858	4.7875	4.4565	21.3355	22.9201
10	60	132.5936	4.0943	4.8873	20.0102	16.7637
<b>10</b>	<b>4980</b>	<b>547.1204</b>	<b>58.1555</b>	<b>38.3650</b>	<b>217.7278</b>	<b>346.9435</b>
<b>Ln (d) =</b>	<b>7.4211</b>	<b>d =</b>	<b>1670.9111</b>	<b>n =</b>	<b>-0.6164</b>	



Serie T= 500 años	
x	Y
1440	18.4158
1080	22.3445
720	29.4652
480	37.5682
360	44.9345
300	50.3856
240	57.4572
180	67.7700
120	86.1858
60	132.5936

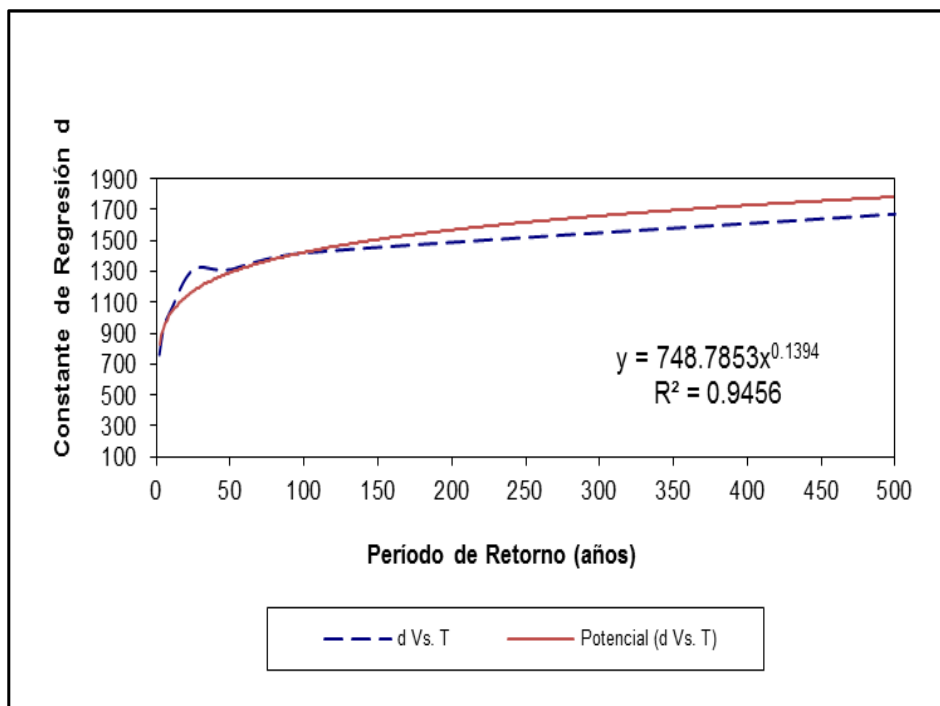
Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	760.82004823356	-0.61638608809
5	937.23619964510	-0.61638608809
10	1054.03904235537	-0.61638608809
25	1311.32867164192	-0.63362500463
50	1311.10353871751	-0.61638608809
100	1419.77892252067	-0.61638608809
500	1670.91114434609	-0.61638608809
<b>Promedio =</b>	<b>1209.31679535146</b>	<b>-0.61884879045</b>

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	760.8200	0.6931	6.6344	4.5986	0.4805
2	5	937.2362	1.6094	6.8429	11.0133	2.5903
3	10	1054.0390	2.3026	6.9604	16.0269	5.3019
4	25	1311.3287	3.2189	7.1788	23.1077	10.3612
5	50	1311.1035	3.9120	7.1786	28.0829	15.3039
6	100	1419.7789	4.6052	7.2583	33.4255	21.2076
7	500	1670.9111	6.2146	7.4211	46.1194	38.6214
7	692	8465.2176	<b>22.5558</b>	<b>49.4745</b>	<b>162.3743</b>	<b>93.8667</b>
<b>Ln (K) = 6.6185</b>		<b>K = 748.7853</b>		<b>m = 0.1394</b>		

Término constante de regresión (K) = 748.7853

Coef. de regresión (m) = 0.139447



x	Y
2	760.8200
5	937.2362
10	1054.0390
25	1311.3287
50	1311.1035
100	1419.7789
500	1670.9111

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{748.7853 * T^{0.139447}}{0.61885 t}$$

Dónde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Período de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)



Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	304.63	198.37	154.35	129.18	112.52	100.51	91.37	84.12	78.21	73.27	69.07	65.45
5	346.15	225.41	175.39	146.79	127.85	114.21	103.82	95.59	88.87	83.26	78.49	74.37
10	381.28	248.29	193.19	161.68	140.83	125.80	114.36	105.29	97.88	91.71	86.45	81.92
25	433.25	282.13	219.52	183.72	160.02	142.95	129.94	119.64	111.23	104.21	98.24	93.09
50	477.22	310.76	241.80	202.36	176.26	157.46	143.13	131.78	122.51	114.78	108.21	102.53
100	525.65	342.30	266.34	222.90	194.15	173.44	157.65	145.15	134.95	126.43	119.19	112.94
500	657.91	428.42	333.35	278.98	243.00	217.07	197.32	181.67	168.90	158.24	149.18	141.36

### Curvas IDF de la zona de estudio

