

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**Diseño de un sistema de Captación y almacenamiento - caso cosecha agua para su aprovechamiento-Garbanzal-Tumbes-2018**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autores**

**Raúl Aarón Espinoza Álvarez**  
**Milagros del Pilar Oyola Mondragón**

**Asesor**

**Dr. José Modesto Carrillo Sarango**

**Tumbes - 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**Diseño de un sistema de Captación y almacenamiento - caso cosecha agua para su aprovechamiento-Garbanzal-Tumbes-2018**

**Tesis aprobada en forma y estilo por:**

**Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué (Presidente)** \_\_\_\_\_

**Dr. Enrique Maceda Nicolini (Secretario)** \_\_\_\_\_

**Ing. Decidero Atoche Ortiz (Vocal)** \_\_\_\_\_

**Tumbes – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**Diseño de un sistema de Captación y almacenamiento - caso cosecha agua para su aprovechamiento-Garbanzal-Tumbes-2018**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:**

Espinoza Álvarez, Raúl Aarón (Autor) \_\_\_\_\_

Oyola Mondragón, Milagros del Pilar (Autor) \_\_\_\_\_

Dr. Carrillo Sarango, José Modesto (Asesor) \_\_\_\_\_

**Tumbes –2019**

## PÁGINA DE DERECHO DE AUTOR

### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

*Los firmantes: Espinoza Álvarez, Raúl Aaron y Oyola Mondragón, Milagros del Pilar declaramos que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto; donde se reconoce como tal, a través de citas y con propósitos exclusivo de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores y mi jurado calificador, en lo referente a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.*

---

Espinoza Álvarez, Raúl Aaron

---

Oyola Mondragón, Milagros del Pilar

# ACTA DE SUSTENTACIÓN

## **DEDICATORIA**

*Acto que dedico a Dios, como muestra de nuestra gratitud. A nuestros padres este logro es para ustedes por toda la confianza brindada hasta el momento y por los sacrificios que han hecho para nosotros. A nuestras hermanas, por acompañarnos en todo momento y por alentarnos a seguir adelante.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a la Escuela de Ingeniería Agrícola, por los conocimientos necesarios y brindados para formarnos como Ingenieros.*

*A la Universidad Nacional de Tumbes, por permitirnos el acceso a una formación de grado universitario, y que hoy estamos recibiendo este título académico.*

*A nuestro asesor **Dr. José Modesto Carrillo Sarango**, por confiar en nosotros y demostrarnos su interés en nuestra investigación, por su ayuda, dedicación y paciencia durante el tiempo dedicado a la realización.*

*A nuestros padres, expresamos nuestro profundo agradecimiento por su apoyo, instrucción y colaboración durante el desarrollo de esta investigación.*

*A los integrantes del jurado, cada uno realizó comentarios muy valiosos, gracias a sus aportes fue posible este trabajo.*

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>I. RESUMEN .....</b>	<b>xii</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
2.1.1. Situación problemática. ....	14
2.1.2. Formulación del problema. ....	19
2.1.3. Justificación. ....	20
2.1.4. Hipótesis, variables y objetivos. ....	21
2.1.5. Objetivos .....	21
2.1.6. Diseño metodológico .....	22
2.1.7. Población y muestra.....	23
2.1.8. Técnicas e instrumentos de investigación.....	23
2.1.9. Procesamiento y análisis de datos. ....	24
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>61</b>
4.2.1. Descripción general de las campañas de campo (Misiones).....	62
4.2.2. Monitoreo de precipitaciones .....	63
<b>4.3. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>63</b>
4.3.1. Ubicación del Proyecto. ....	63
4.3.2. Ubicación Política: .....	64
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Conjunto de Coeficientes y Exponentes .....	33
<b>Tabla 2:</b> EValores del parametro m en funcion del area de drenaje de la cuenca en km <sup>2</sup> .....	33
<b>Tabla 3:</b> Los valores de los parametros K en funcion de las características de la cuenca .....	34
<b>Tabla 4:</b> IRecolección de inventario de la información en la cuenca Puyango - Tumbes.....	63
<b>Tabla 5:</b> EResumen de parametros morfologicos de la microcuenca Garbanzal – Cuenca del rio Tumbes –Puyango .....	<a href="#">66</a>
<b>Tabla 6:</b> Caudal maximo metodo de Iszkowski.....	71
<b>Tabla 7:</b> ECaudal maximo metodo de Creager.....	72
<b>Tabla 8:</b> Promedio de caudales .....	73
<b>Tabla 9:</b> Características geomorfológicas de la microcuenca Garbanzal .....	75
<b>Tabla 10:</b> Variación de la temperatura en los últimos 30 años region Tumbes....	76
<b>Tabla 11:</b> Variación de la precipitación , estación campamento sede , region Tumbes.....	77
<b>Tabla 12:</b> Resultados de infiltración en reservorio .....	78
<b>Tabla 13:</b> Infiltración acumulada .....	<a href="#">79</a>
<b>Tabla 14:</b> Valores de infiltración básica según tipo de suelo .....	80
<b>Tabla 15:</b> Movimiento de tierras.....	81
<b>Tabla 16:</b> Ángulos de fricción según el tipo de suelo.....	82
<b>Tabla 17:</b> Datos referenciales sobre capacidad de carga.....	83
<b>Tabla 18:</b> Características del embalse de cosecha de agua en microcuenca Garbanzal.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de Cuencas Hidrográficas del Perú. Fuente: Sistema de Información Ambiental.....	35
<b>Figura 2:</b> Mapa de Evaluación de las Avenidas del Perú. Fuente: Sistema de Información Ambiental.....	36
<b>Figura 3:</b> Divisoria de aguas superficiales y de agua subterránea .....	41
<b>Figura 4:</b> Longitud y perímetro de una cuenca .....	42
<b>Figura 5:</b> Hidrógrafas según la forma de la cuenca.....	43
<b>Figura 6:</b> Método para hallar la pendiente S, en una cuenca .....	47
<b>Figura 7:</b> Clasificación de las técnicas de recolección de agua.....	53
<b>Figura 08:</b> Esquema de macro localización del Proyecto .....	70
<b>Figura 09:</b> Esquema de macro localización del Proyecto .....	70
<b>Figura 10:</b> Esquema de micro localización del Proyecto .....	71
<b>Figura 11:</b> Mapa geológico con las principales unidades litoestratigráficas en la región de Tumbes.....	75
<b>Figura 12:</b> Microcuenca quebrada garbanzal .....	78
<b>Figura 13:</b> Variación de Temperatura en los últimos 30 años región tumbes.....	79
<b>Figura 14:</b> Se pueden observar dichas infraestructuras Zanjas de infiltración tipo “calderas” .....	89

## INDICE DE ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO.....	100
PLANOS .....	104

## I. RESUMEN

La presente investigación “Diseño de un sistema de captación y almacenamiento-caso cosecha agua para su aprovechamiento-Garbanzal-Tumbes-2018” tuvo como propósito diseñar un sistema de captación y almacenamiento para cosecha de agua para el aprovechamiento agropecuario y poblacional, en la microcuenca de la Quebrada Garbanzal – Tumbes para lo cual se usó un tipo de investigación aplicada bajo un diseño no experimental- transeccional-descriptivo-causal teniendo como población la cuenca del río Puyango Tumbes y como muestra no probabilística e intencional la microcuenca de la quebrada Garbanzal. Se tuvo como resultado que la microcuenca puede producir un volumen de agua útil de aproximadamente 71,341.16 m<sup>3</sup>/año de agua útil por año y las obras estructurales y no estructurales estaría conformadas por un embalse o reservorio de una capacidad total de 863 941.94 m<sup>3</sup>y que dicha agua cosechada puede tener usos domésticos así como usos productivos. El costo total estimado es de S/. 4'701,843.62 (cuatro millones setecientos un mil ochocientos cuarenta y tres con 62/100 soles) a una inversión de S/. 65.91 m<sup>3</sup> de agua almacenada.

Palabras claves: Cosecha de agua, cuenca hidrográfica, siembra de agua.

## ABSTRACT

The present investigation "Design of a system of captation and storage-case water harvest for its use-Garbanzal-Tumbes-2018" had as purpose to design a system of catchment and storage for water harvesting for the agricultural and population use, in the microbasin de la quebrada Garbanzal - Tumbes for which a type of applied research was used under a non-experimental-transectional-descriptive-causal design having as population the Puyango Tumbes river basin and as a non-probabilistic and intentional sample the microbasin of the Garbanzal ravine. The result was that the microbasin could produce a useful water volume of approximately 71,341.16 m<sup>3</sup>/year of useful water per year and the structural and non-structural works would be made up of a reservoir or reservoir with a total capacity of 863, 941.94 m<sup>3</sup> and that said harvested water can have domestic uses as well as productive uses. The total estimated cost is 4'701,843.62 (cuatro millones setecientos un mil ochocientos cuarenta y tres con 62/100 soles) to an investment of S/. 65.91 m<sup>3</sup> of stored water.

Keywords: Water harvest, river basin, water sowing.

## II. INTRODUCCIÓN

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1.1. Situación problemática.

En estos tiempos, la población mundial supera los 7.200 millones de personas. De ellas, más de 2000 millones viven en países que están sufriendo de “estrés hídrico”, es decir que tienen una disponibilidad percapita de agua menor a 1700 m<sup>3</sup>/persona-año. Por otro lado, alrededor de unos 1200 millones de personas de dicha población, adolecen de serias restricciones de agua para su propia supervivencia diaria y además, unos 900 millones de personas de esta población no tienen servicios de agua y desagüe. (Vásquez, 2017).

Toda esta posición de creciente falta de agua dará origen en unos casos y empeorará en otro la presencia de tremendos disputas entre pueblos, etc. ubicadas especialmente en regiones áridas y semiáridas o en zonas con elevadas pendiente (Vásquez, 2017).

El estrés hídrico determinado como la relación entre el total de agua dulce extraída y el total de agua dulce renovables en un país o región en particular, después consideraran el agua necesaria para mantener el medio ambiente natural afecta a los países de todos los continentes.

No solo obstaculiza la sostenibilidad en los recursos naturales obstaculiza el desarrollo económico y social, y tiende a afectar desproporcionalmente a las personas más desfavorables (FAO).

El estrés hídrico es superior al 60% en Asia Occidental, Asia Central y África Septentrional, lo que significa que estas regiones sufren un grave estrés hídrico, al menos durante algunas partes del año. Tales dificultades se abordan típicamente haciendo uso de recursos hídricos no convencionales, como la reutilización de aguas residuales, agua desalinizada y el uso directo de agua de drenaje agrícola. Se deben hacer esfuerzos en esas regiones, y particularmente en las subregiones más afectadas, para reducir la extracción de agua, aumentando la productividad y eficiencia en el uso de recursos hídricos (FAO).

Sin embargo, la mayoría de las otras regiones se encuentran por debajo de este umbral, y la mayoría se mantiene muy por debajo del umbral del 25% del estrés hídrico inicial, hasta donde hay posibilidades de aumentar de manera sostenible el uso de agua por las personas y la economía. Análisis adicionales a nivel de países revelan que 23 países experimentan estrés hídrico por encima del 70%, mientras que 15 países retiran más del 100% de sus recursos de agua dulce renovable (FAO).

El recurso agua depende de las situaciones que presente el ciclo hidrológico y de la rapidez con que son extraídos para cubrir las demandas de las actividades económicas y de la población, por lo que para garantizar su conservación es necesario realizar una administración y/o gestión racional e integral del agua.

La denominada cuenca hidrológica es la base natural del sistema de límites geográficos de la gestión integral del recurso, en la que se ubica el caudal de los cuerpos de agua superficiales y los acuíferos.

*“La recarga de acuíferos y para mantener la disponibilidad del agua que asegure los procesos productivos y consumo básico de la población, depende de las lluvias y de lo que se disponga de su entorno en la cuenca.” (Padrón y Cantú, 2009).*

*“El Perú tiene con 106 cuencas hidrográficas por las que escurren 2 043 548, 26 MMC al año. Así mismo, cuenta con 12 200 lagunas en la sierra y más de 1 007 ríos, con los que se alcanza una reserva media de requerimientos hídricos de 2 458 MMC centrados en la vertiente amazónica” (MINAGRI, 2009).*

“La disponibilidad en territorio nacional es variable, casi el 70% de todo el agua precipitada se produce en los meses de diciembre a marzo, teniéndose épocas de extrema aridez en todo el año y de excesiva lluvia en algunos meses. La mayoría de lagunas han sufrido por el impacto de la contaminación por desechos mineros, agrícolas y urbanos, y el asentamiento de pueblos o centros recreativos en sus orillas.

Perú cuenta con tres vertientes hidrográficas: la vertiente del Atlántico (genera 97.7% de los recursos hídricos), la vertiente del Pacífico (genera 1.8% de los recursos hídricos del país) y la vertiente del Lago Titicaca (genera 0.5% de los recursos hídricos del país).

Paradójicamente, la población está sito en su mayoría en la vertiente del Pacífico, habiendo un problema de estrés hídrico, que en un futuro puede empeorarse por efecto del cambio climático.

En más del 68% de las cuencas dentro de la vertiente, el balance es negativo, ya que el balance hídrico realizado en la vertiente hidrográfica del Pacífico proyecta los requerimientos de agua y la oferta de esta, e indica que si bien en agregado se cubre la demanda de agua.

El agua, no es un recurso totalmente renovable, a pesar que se encuentra en la tierra en la misma cantidad siempre, gracias al ciclo hidrológico.”

Hay personas que piensan que el agua siempre va a estar a nuestra disposición, tanto así que no le dan la debida importancia en cuidarla y

preservarla. Esto conlleva a que el recurso hídrico sea aprovechado indiscriminadamente, y esto hace que se consuma más rápido de lo que puede ser renovado y purificado de manera natural.

Las prácticas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultado de las necesidades (demanda), recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción), y las condiciones ambientales en cada región.

Al no hallarse red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo elevado, se idean sistemas alternativos de abastecimiento, por ello los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, se limita a las acciones realizadas en las últimas décadas en zonas geográficas donde se expanden las actividades productivas, y donde también se incrementa la población.

“Los expertos, en Perú, consideran: que atraviesa por una “escasez económica” del recurso, lo que implica que la carencia del recurso agua es más bien a falta o de débiles infraestructuras e insuficientes para potabilizarla, transportarla a todos los hogares, y asegurar las condiciones y la calidad de las fuentes naturales y el tratamiento de las aguas residuales” (Edu, 2018).

“El Perú es uno de los países más afectados por la variabilidad climática a nivel mundial. Con un 70% de la población nacional viviendo en la costa, somos una sociedad que enfrenta un problema de estrés hídrico, con niveles alarmantes en Ica, Moquegua, Tacna, partes de Arequipa” según expuso el Dr. Manuel Glave (Edu, 2018).

En la importancia de recuperar el entorno, los especialistas concuerdan en que es urgente mejorar temas de gobernanza y gestión de los proyectos, elevar presupuestos, eliminar barreras burocráticas que retrasan la aplicación de medidas, así como por ejemplo: contar con

profesionales que sepan trabajar integralmente en la complejidad de los problemas más que en la suma de soluciones parciales. (Edu, 2018).

En Tumbes se encuentra ubicado en la costa del Perú, en el extremo Norte del país, se encuentra limitando con el país de Ecuador, su capital es la ciudad de Tumbes con una altitud de 6m.s.n.m.

Su área y/o superficie es de 4669 Km<sup>2</sup> y tiene 3 provincias y además cuenta con 13 distritos. En el departamento Tumbes, al 2018, se estima que habitan 246 mil personas. El 96.4% vive en el sector urbano y el 3.6% en la zona rural (INEI, 2018).

La provincia de Tumbes conformada por los distritos de Tumbes (115 538 habitantes), Corrales (24 945 habitantes), La Cruz (9 419 habitantes), San Jacinto (8 640 habitantes), Pampas de Hospital (7 213 habitantes) y San Juan de la Virgen (4 128 habitantes), es decir en la provincia de Tumbes habitan 169 433 personas (69%).

En Tumbes el período de lluvia tiene una duración en promedio desde el 20/12 al 25/05, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 31 mm.

En su mayoría la lluvia de mayor magnitud cae durante los 31 días centrados alrededor del 15/03, en una acumulación total promedio de 97mm. El periodo del año no lluvioso dura 9.6 meses del 25/05 al 20/12. La fecha aproximada en donde se presenta menor grado de concentración de precipitación es el 24/08, con una acumulación de 1mm.

La principal fuente de agua superficial es la cuenca del Río Puyango-Tumbes que nace en el Ecuador a 3 500 msnm (Cordilleras Chilla y Cerro Negro) en las provincias de El Oro y Loja; teniendo como principales tributarias los ríos Calera, Amarillo, Luis, Ambocas y Pindo; y

desemboca en el Océano Pacífico después de un recorrido total de 230 Km; atravesando toda la provincia de Tumbes, en el Departamento de Tumbes. En la parte baja de cuenca del río Puyango-Tumbes (Zona de investigación) se reportan precipitaciones promedio del orden de 300 mm/año;(INGEMMET, 2006); y con caudales medios mensuales de 114 m<sup>3</sup>/seg en la estación El Tigre-Higuerón y un caudal medio anual de 111.47 m<sup>3</sup>/seg.El 85% al 95% de las lluvias se concentran entre los meses de enero a marzo (Río Puyango-Tumbes); (INGEMMET, 2006).

La Micro cuenca de la quebrada Garbanzal es una cuenca fluvialmente seca, activándose solo en épocas de lluvias.

En este orden de ideas; considerando un caudal medio del Río Puyango-Tumbes de 111.47 m<sup>3</sup>/seg (con un volumen anual de 3, 500`000.000); y una población total de 250 000 habitantes; existiría un volumen de agua de 14 000 m<sup>3</sup>/año-habitante muy superior al límite de estrés hídrico de 1700 m<sup>3</sup>/año-habitante; y si solo consideramos los habitantes de la provincia de Tumbes (170 000 habitantes) el volumen sería de 20 500 m<sup>3</sup>/año-habitante muy superior al límite de estrés hídrico de 1700 m<sup>3</sup>/año-habitante (estrés hídrico del Falkenmark). Sin embargo se debe precisar que esto no sucede en la micro cuenca de quebrada Garbanzal, que hidráulicamente es una cuenca seca o río muerto (solo discurre en determinados años lluviosos); para lo cual se plantea la presente investigación.

### **2.1.2. Formulación del problema.**

¿Es importante el diseño de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia, para asegurar un almacenamiento de agua superficial a través del método cosecha de agua en la quebrada Garbanzal?

### 2.1.3. Justificación.

El motivo de esta investigación fue plantear un diseño de un sistema de captación y almacenamiento del recurso hídrico para beneficiar a la población del sector rural y cuenten con recurso hídrico para uso doméstico e irrigar zonas agrícolas que conllevan a mejorar la producción y consecuentemente la calidad de vida del poblador, irrigando los terrenos que tienen deficiencia en la producción agrícola por la ausencia del recurso hídrico en las zonas altas y zonas alejadas de las fuentes de abastecimiento de agua.

El diseño para el desarrollo del sistema de recolección de aguas pluviales se realiza porque tiene que estar relacionado con la búsqueda de alternativas de captación de agua para atender las necesidades para el consumo humano, uso doméstico, uso agrícola y para la producción animal.

La presente investigación se justifica en la **práctica** porque sus resultados permitirán tener el diseño de un sistema de recolección de agua limpia utilizando el agua de lluvia.

Su **justificación metodológica** es porque uno de los parámetros más importantes dentro de un sistema de captación de aguas de lluvias es la estimación de caudales; y el volumen de almacenamiento seguido por el potencial uso óptimo del agua. Los mismos que serán validados, confiables y podrán ser utilizados en otras investigaciones similares.

Finalmente tiene una **justificación socio económica** porque el funcionamiento de este proyecto mejorará la calidad de vida de los pobladores rurales porque tendrían disponibilidad del vital recurso en épocas de escasez.

#### 2.1.4. Hipótesis, variables y objetivos.

##### **Hipótesis**

El diseño apropiado de un sistema de captación y almacenamiento permitirá una buena cosecha de agua en el sector de Garbanzal-Tumbes; específicamente en la microcuenca de la quebrada Garbanzal.

##### **Variables**

**Independiente:** Sistema de **captación** y almacenamiento

Los sistemas de **captación** de agua de lluvias está conformado principalmente por obras de tipo estructural como por ejemplo la construcción de zanjas de infiltración sean estas de tipo longitudinal o de tipo de media luna o “calderas”; ambas se construyen en las laderas de las cuencas con la finalidad de captar agua e infiltrarla en el suelo.

**Dependiente:** Cosecha de **agua**

La cosecha de agua se realiza mayormente en áreas naturales o áreas artificiales. Las áreas naturales están constituidas por **pequeñas** depresiones y/o embalses pequeños que se forman naturalmente en las cuencas; y artificiales si estos son construidos por la mano del hombre (presas y reservorios).

#### 2.1.5. Objetivos

##### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de captación y almacenamiento para cosecha de agua para el aprovechamiento agropecuario y poblacional, en la microcuenca de la quebrada Garbanzal -Tumbes.

## **Objetivos específicos**

1. Evaluar los volúmenes de cosecha de agua, mediante un estudio hidrológico de la microcuenca Garbanzal -Tumbes.
2. Diseñar un sistema de captación y almacenamiento de aguas pluviales en la microcuenca de la quebrada Garbanzal - Tumbes.
3. Determinar los usos posibles de agua pluvial almacenada.
4. Realizar un estudio económico del proyecto y evaluar el costo económico vs el agua que puede ser cosechada.

### **2.1.6. Diseño metodológico**

#### **Tipo de estudio**

El presente proyecto de investigación es un estudio de tipo Aplicado.

Dado que el trabajo de investigación tiende a solucionar un problema práctico, como es el de captar agua en áreas eriazas, se propone un sistema de captación pluvial que caracteriza a un tipo de investigación aplicada.

#### **Diseño**

Este proyecto de investigación es de tipo No Experimental-transeccional-descriptivo-causal. Esto porque no se manipularon las variables intencionalmente, se usó la información de un tiempo determinado, se analizó y conoció las características y propiedades de las variables así como se explicaron los hechos y fenómenos en cuanto a sus causas y consecuencias (Carrasco, 2013).

### 2.1.7. Población y muestra

#### **Población**

La Población estuvo constituida por toda superficie o el área de la cuenca del río Puyango-Tumbes con un área total de 4, 850 km<sup>2</sup> aproximadamente.

#### **Muestra**

Para esta investigación se trabajó con una muestra No Probabilística Intencional constituida por la micro cuenca de la quebrada Garbanzal, con área total de 0.6547 km<sup>2</sup> (65.47 has).

### 2.1.8. Técnicas e instrumentos de investigación

**Técnicas:** Para la presente investigación se usó la técnica de recolección de información mediante el análisis documental constituido por documentos escritos (carta nacional, informes especializados, libros, textos, tesis, revistas, etc.). Asimismo se usó la técnica de la observación de todas las características, cualidades y propiedades del objeto materia de investigación (Microcuenca de la Quebrada Garbanzal). (**Carrasco, 2013**).

**Instrumentos:** En la presente investigación los instrumentos físicos que permitieron obtener y recoger datos de las variables en estudio fueron:

Instrumentos de observación de campo (Cámaras fotográficas para registrar imágenes fijas, Eclímetro para calcular las pendientes de laderas, Cilindros infiltrómetros para calcular la infiltración del suelos, Estación total para realizar la topografía total del vaso de almacenamiento y otros parámetros topográficos, GPS para ubicación de coordenadas, Machetes, etc.); instrumentos de observación de

gabinete (USB para trasladar los datos extraídos de la estación total, Laptop para procesar datos usando los software como AutoCAD, Civil CAD, ArcGIS, Office 2016; cartas nacional del IGN en escala 1/100 000, Información hidrológica y meteorológica, etc.)

#### **2.1.9. Procesamiento y análisis de datos.**

##### **Procesamiento**

Obtenida la información de campo ésta fue colocada en tablas estadísticas de simple y doble entrada así como figuras para conocer la variación porcentual de cada una de las variables.

##### **Análisis**

La información de campo fue analizada con Autocad Civil para obtener los planos correspondientes de la cuenca como planos altimétricos, planimetría así como los diseños correspondientes a las áreas de captación y el vaso de almacenamiento y los diques de retención. Así mismo con el ArcGIS se procesó la información obtenida de las estaciones meteorológicas como la precipitación para encontrar la precipitación promedio estimada en la microcuenca en estudio y los caudales fueron estimados mediante modelamientos para cuencas secas como el Método de Creager y el método de Iszkowski.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA.

#### 3.1. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS

##### **Sistema de captación de agua de lluvia:**

**(FAO Y FIDA, 2013).** *“Se entiende por captación el aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores, para incrementar la cantidad de agua de lluvia que se reserva en el suelo o en las estructuras construidas, para luego ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de escasez de lluvias.”*

##### **Técnicas de captación y almacenamiento de agua de lluvia:**

**(FAO Y FIDA, 2013).** Se entiende como la práctica de aprovechamiento de agua de lluvia capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua en el predio, para uso doméstico, animal o vegetal. “Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia.”

**Programa hidrológico internacional de la UNESCO, phi (2015).** El sistema consta principalmente de tres partes:

- **“Área de captación:** Es aquella que cumple la función de capturar el agua por presencia de precipitaciones. Dicha área será impermeabilizada y sus dimensiones dependerán de la precipitación de diseño, del coeficiente de escorrentía que está asociado al material impermeabilizador, como lo es: geomembrana u hormigón y del volumen de agua que se quiera almacenar.

- **Sistema de conducción:** Es aquel sistema que conduce por diferencia de gravedad el agua captada desde la superficie impermeabilizada hasta la cisterna de acumulación y puede tener un sistema de decantación de sedimentos.
  
- **Cisterna de acumulación:** Se refiere al depósito donde se almacena o acumula el agua y su volumen. Depende del objetivo puede ser construida de diferentes materiales:
  - ✓ Estanque vertical de fibra de vidrio.
  - ✓ Estanque vertical de polietileno.
  - ✓ Estanque tipo Australiano.
  - ✓ Hidroacumulador de PVC.
  - ✓ Excavación impermeabilizada con Geomembrana y techada.
  - ✓ Excavación impermeabilizada con hormigón y techada.

### **Características de sistemas de cosecha de agua de lluvia:**

**Oweis y Hachum (2006)** indican que *“la cosecha de agua se divide en dos grandes ramas. La primera se refiere al agua de escorrentía y la segunda se trata de cosecha de agua para riego suplementario”*. También, **Aladenola y Adeboye (2009)** mencionan que *“la recolección del agua pluvial se puede clasificar en dos grandes categorías: con base en tierra y con base en las superficies de los techos. Se señala que es una medida para reducir el impacto del cambio climático en los suministros de agua.”*

La lluvia captada considerada como una forma primitiva de riego, como por ejemplo: al usar surcos, canales, etc. No obstante, dicha diferencia es que la idea de la captación está sobre todo en el control sobre la empleo del agua colectada y no está sujeta únicamente al momento en el que llueve; además, existen gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Las técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes; tipo de

escorrentía; técnicas de manipulación; tipo de almacenamiento; y a los diferentes usos que se le da al recurso **(FAO, 2000)**.

La cosecha del agua de lluvia, en conjunto con los esfuerzos por mejorar la productividad agrícola y la rentabilidad en las zonas de secano en África y Asia **(Rockströmet al., 2010)** tiene gran potencial para contribuir a la reducción de la pobreza. Además, debido a la disminución de la disponibilidad y calidad de los recursos tradicionales de agua, el agua de lluvia recolectada se utiliza cada vez más para fines no potables **(Méndez et al., 2011)**.

### **Sistemas de Captación Pluvial en el Mundo y Situación Actual:**

Así como el Perú existen métodos de sistemas de captación en otras partes del mundo se usan dichos métodos esenciales para la vida humana, agricultura entre otros elementos o factores elementales, Vamos a mencionar algunos datos estadísticos y costos aproximados que representan los sistemas de captación de aguas de lluvias.

En el continente Africano, la situación es verdaderamente crítica en lo que es abastecimiento de agua potable, por la vida paupérrima que se vive y a la poca inversión en alcantarillados y acueductos que permitan la obtención y tratamiento de agua. Por ello, “los sistemas de captación de agua de lluvia son muy bien vistos ya que son muy eficientes en aprovechar al máximo el recurso hídrico disponible. Además, otros factores que lo impiden es la poca precipitación con la que cuentan y la dificultad que tienen de encontrar materiales para los techos que sean impermeables y no se deterioren con el paso continuo del agua.”

No obstante, hay organizaciones que apoyan a los sistemas de captación de aguas pluviales como Development Technology Unit de Inglaterra, quienes realizaron un concurso entre organizaciones africanas para realizar estos sistemas con el menor costo posible. *“Hay muchos países africanos en los cuales ya se han desarrollado o se están desarrollando*

*proyectos de gran envergadura que incluyen la captación de agua pluvial en grandes áreas, como en los países de: Sudáfrica, Togo, Bostwana, Mali, Malawi, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania.” (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).*

En el Continente Asiático, principalmente en el país de la india es donde se ha desarrollado más sistemas de captación de lluvia, principalmente por las condiciones meteorológicas con las que cuenta. Con ayuda de la Organización No Gubernamental Forumfor Drinking Water Supply & Sanitation, se han instalado más de 1000 sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano. *“Lo interesante aquí, es ver la variedad en sus tanques de almacenamiento, los cuales pueden ser de concreto reforzado, mampostería, cisternas y tanques enterrados, los precios oscilan entre \$50.00 y \$150.00.”(UNEP, 2000).*

En el país de Tailandia, para lograr obtener agua de muy buena calidad del almacenamiento de agua de lluvia es un sistema apropiado y económico. *“Se pueden encontrar en diferentes volúmenes, desde 1, 000 hasta 3, 000 litros con lo cual se puede suministrar agua suficiente para un hogar de 6 personas y tienen un costo promedio de US\$20.00.” (UNEP, 2000).*

En América del sur, Brasil cuenta con muchas ONG y organizaciones ambientales que utilizan sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia con el fin de alcanzar un adecuado abastecimiento para el consumo humano.

En algunas zonas amazónicas, las comunidades nativas recogen y cosechan aguas de lluvia mediante pozos en rocas excavados a mano, los cuales no son muy eficientes y no se dan abasto para satisfacer la demanda de la población indígena.

“En el país de Honduras, hay viviendas acondicionadas con deficientes sistemas de aprovechamiento de aguas de lluvias y con escasos

mantenimiento de uso y de limpieza. A pesar que estos sistemas tienen deficiencias, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que ponen en práctica las metodologías para beneficiarse del agua de lluvia.”  
**(Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)**

### **Sistema de Información Geográfica (SIG):**

Los SIG son aquellos paquetes informáticos que incorporan la superposición de diferentes capas con sus respectivas características, esto es posible mediante mapas relacionados con tablas de datos y conjuntos de modelos. **(Organización Meteorológica Mundial, 2012)**

### **HEC RAS:**

“Siendo este un programa de modelización hidráulica unidimensional. Gracias a este programa es que nos va a permitir simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.” **(Cursos Gis, s.f.)**

### **ArcGIS:**

Es un programa que permite recopilar, además de organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Esta plataforma es utilizada por todo el mundo, este programa sirve para poner el conocimiento geográfico a miles de usuarios, teniendo diferentes versiones como también diferentes extensiones. **(ArcGISResources, s.f.)**

### **Simulación:**

Proceso en el cual sirve para reproducir o representar fenómenos reales mediante un modelo hidrológico numérico, dichos modelos los podemos obtener en fase de gabinete, como puede ser datos meteorológicos, pluviométricos, etc. **(Organización meteorológica mundial, 2012)**.

### Método de Creager:

Gracias a este método, es posible que nos permita conocer la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos.

Para la obtención de su fórmula, graficó los gastos máximos por unidad de área observados en cuencas de todo el territorio peruano contra el área misma de las cuencas, después trazo una curva que fuera envolvente de todos los puntos graficados y obtuvo la ecuación que se indica a continuación:

$$Q^{\text{MAX}} = (C^1 + C^2)_{\log(T)} A^{mA^{-n}}$$

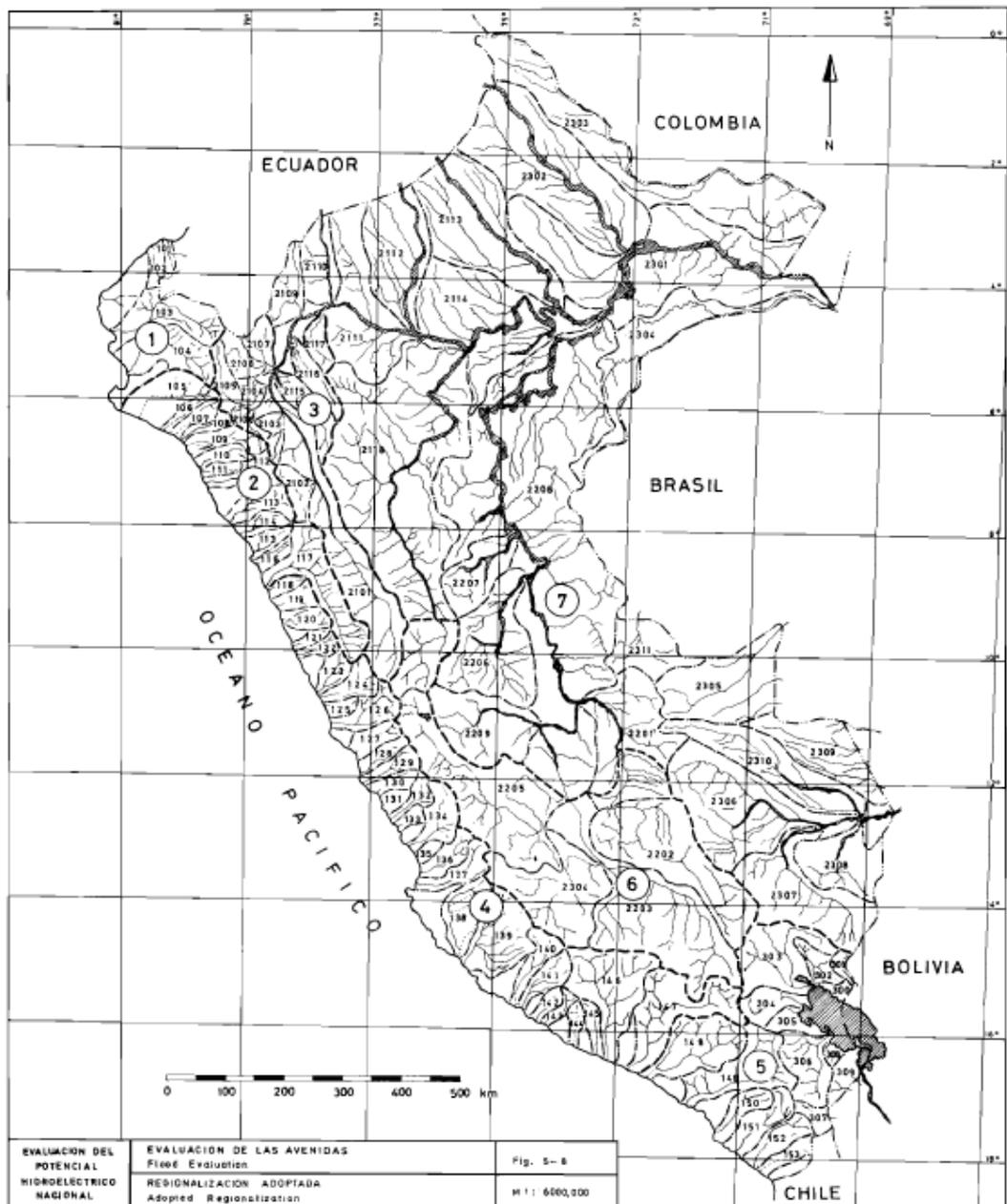
### Dónde:

- Qmax: caudal máximo para un periodo de retorno T seleccionado, en m<sup>3</sup>/s
- A: área de la cuenca aportante, en km<sup>2</sup>
- T: periodo de retorno, en años
- C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas
- m, n: exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

Según los autores, el territorio peruano queda subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en la **Figura 1**:



**Figura 1:** Mapa de Cuencas Hidrográficas del Perú. Fuente: Sistema de Información Ambiental.



**Figura 2:** Mapa de Evaluación de las Avenidas del Perú. Fuente: Sistema de Información Ambiental.

Se establece el conjunto de coeficientes y exponentes, para cada una de las zonas identificadas, siendo indicados en el cuadro siguiente:

**Tabla 1** Conjunto de Coeficientes y Exponentes

Región	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

**Método de Iszkowski:**

$$Q = \frac{k \times m \times h \times A}{1000}$$

Donde Q es el flujo máximo (m<sup>3</sup>/s), k y m son parámetros que dependen de morfología y área de la cuenca, respectivamente, h es la precipitación promedio (mm) y A es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>). Los valores de m y k se presentan en las Tablas 2 y 3

**Tabla 2** Valores del parámetro m en función del área de drenaje de la cuenca en km<sup>2</sup>. Fuente: Pinto et. al. 1976.

A (km <sup>2</sup> )	m
1	10
10	9
40	8,23
70	7,6
100	7,4
500	5,9
1.000	4,7
2.000	3,77
10.000	3,02
30.000	2,8

**Tabla 3** Los valores de los parámetros  $k$  en función de las características de la cuenca. Fuente: Pinto et. al. 1976

Características da Bacia	Valores de $k$			
	I	II	III	IV
Zona pantanosa	0,017	0,03	-	-
Zona plana e levemente ondulada	0,025	0,04	-	-
Zona em parte plana e em partes com colinas	0,03	0,056	-	-
Zona com colinas não muito íngremes	0,035	0,07	-	-
Zonas com montes altos segundo a declividade	0,06	0,16	0,36	0,6
	0,07	0,185	0,46	0,7
	0,08	0,21	0,6	0,8

Los valores de  $k$  se dan de acuerdo con las siguientes categorías:

- Categoría I : terreno muy permeable con vegetación normal y terreno de permeabilidad media con vegetación densa.
- Categoría II : terreno de colinas o montañas con vegetación.
- Categoría III : terreno impermeable con vegetación normal en una colina empinada o montañosa.
- Categoría IV : terreno impermeable con poca o ninguna vegetación en colina empinada o montañosa.

### **Cuenca hidrográfica:**

Delimitadamente hablando es el área de captación natural del agua de precipitación de la lluvia que hace converger los escurrimientos hacia un único punto de salida.

Está compuesta por un conjunto de superficies vertientes constituidas por la superficie del suelo y de una red de drenaje formada por los cursos de agua que confluyen hasta llegar a un lecho único en el punto de salida.

A continuación delimitación de una cuenca hidrográfica:

1. “Se define el exutorio estando situado en la parte más baja del trecho del curso de agua principal.
2. Establecer la marcación del curso de agua principal y de los afluentes (los cuales cruzan las curvas de nivel, de las más altas a las más bajas para definición de los fondos de valle).
3. Su delimitación de la cuenca hidrográfica inicia a partir del exutorio conectando los puntos más elevados, teniendo por base las curvas de nivel. El curso de agua y las nacientes de sus tributarios y afluentes, son el límite de la cuenca circunda
4. En las zonas altas de los cerros, principalmente se debe verificar si la lluvia que cae del lado de adentro del límite realmente se escurrirá sobre el terreno rumbo a las partes bajas cruzando perpendicularmente las curvas de nivel en dirección al curso del agua en estudio. Si la inclinación del terreno estuviere volcada en la dirección opuesta a los drenajes es porque pertenece a la otra cuenca.
5. Los divisores de agua son representados por el inverso de una vaguada, en el cual las curvas de nivel presentan curvatura volcada en el sentido de la inclinación del terreno, sobre la cual, las aguas se escurren en el sentido ortogonal a las curvas en dirección a las vaguadas.
6. La delimitación de la cuenca debe retornar al punto inicial definido como exutorio.” **(Sperling, 2007)**

### **Cálculo de parámetros geomorfológicos de la cuenca:**

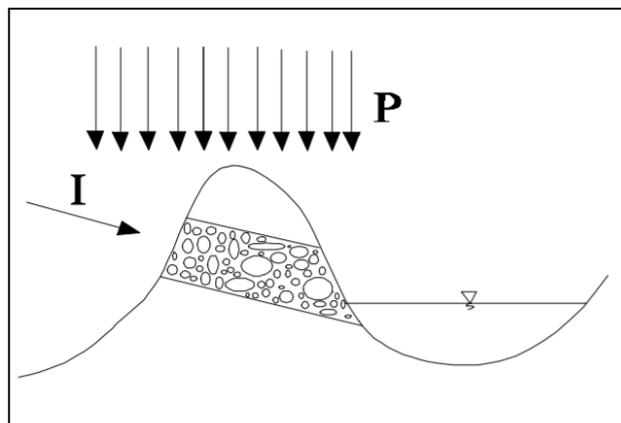
Siempre al iniciar un estudio geomorfológico, siempre se tiene que empezar por la ubicación de los puntos donde existan en los ríos, las estaciones de aforo, para así poder tener un estudio completo de las

variables coexistentes en nuestra cuenca: tanto en las excitaciones y el sistema físico, como en las respuestas del sistema de la hoya hidrográfica.

Para fines de estudio toda cuenca en estudio principalmente debe estar delimitada en cuanto a su río principal, y en otros casos también tomando los secundarios tanto aguas abajo como aguas arriba. “Aguas abajo idealmente por la estación de aforo más cercana a los límites de la cuenca en que se está interesado.” (Siendo el punto de la estación el punto más bajo en el perfil del río y en el borde de la cuenca de interés).” Aguas arriba por otra estación que sea el punto más alto en el perfil del río donde se incluya el área en estudio, o por las cabeceras del río si es el caso del estudio de la cuenca desde el nacimiento.”

➤ **Área de la cuenca**

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.



**Figura 3:** Divisoria de aguas superficiales y de agua subterránea

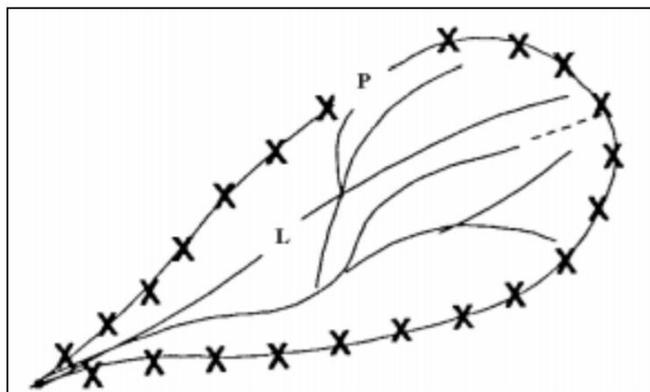
En consecuencia “el balance hídrico si se presenta una situación como la mostrada en la figura 03, el área superficial puede ser mucho menor que el área total contribuyente al caudal de un río. Si se presentan estructuras geológicas que ayuda la infiltración de aguas de otras cuencas, es necesario tener en cuenta estos aportes que pueden ser bastante representativo.” Frecuentemente se desea

analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas o subsistemas dependiendo de las metas en estudio del proyecto determinado. Su importancia radica en las siguientes razones:

- a) “Dicho valor se utilizará para varios cálculos en diferentes modelos hidrológicos.
- b) Para una misma región hidrológica, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio, esto siempre está establecido.
- c) Las cuencas con áreas mayores producen hidrógrafas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrógrafas picudas cuando la precipitación fue intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.
- d) Cuando se calcula y se estima el área de las cuencas siempre se relacionan en forma inversa con la relación entre caudales extremos: mínimos/máximos.”

➤ **Longitud, perímetro y ancho**

La longitud está definida de una cuenca como la distancia horizontal de nuestro cauce principal o también del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.



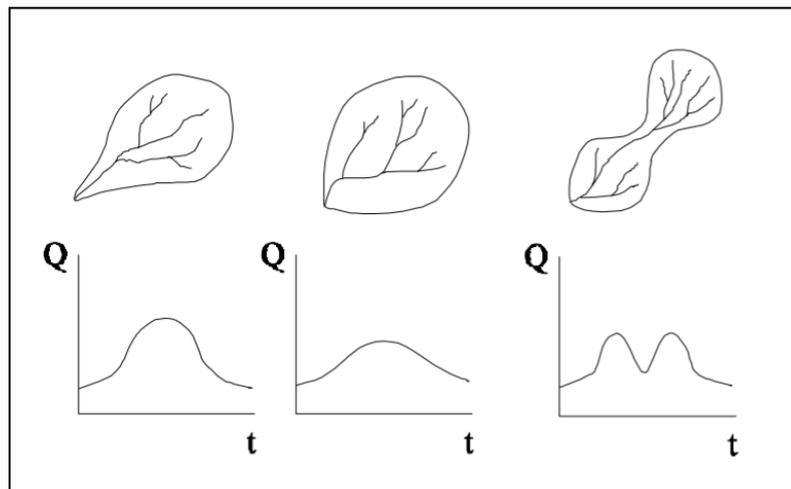
**Figura 4:** Longitud y perímetro de una cuenca

Hay que tener en cuenta el presente, que el perímetro calculado de la cuenca o también conocida como la longitud de la línea de divorcio de la hoya, es un parámetro muy importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. “Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P. El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. De forma que:”

$$W = \frac{A}{L}$$

➤ **Parámetros de forma de la cuenca**

Es de mucha importancia conocerla configuración de las cuencas, pues se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, además se relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrógrafa).



**Figura 5:** Hidrógrafas según la forma de la cuenca

En la figura 05 “se visualizan hidrógrafas para cuencas con la misma área y diferentes formas ante una lámina precipitada igual.” Está claro que existe un fuerte componente probabilística en la determinación de

una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por eso se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas. Los principales factores de forma son:

✓ **Factores de forma de Horton.**

Los factores permiten establecer la siguiente relación entre el área de la cuenca A y el área de un cuadrado de longitud L, siendo L la longitud del cauce principal, más no de un secundario:

$$\frac{A}{L^2} = \frac{A^{-0.136}}{2}$$

Despejando el valor de L se tiene:

$$L = 1.41 A^{0.568}$$

Para estimar el área se tiene que dar en millas cuadradas. “La ecuación muestra detalladamente que las cuencas no son similares en forma. Se observa la medida que el área aumenta, su relación  $A/L^2$  disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes.” La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos, por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico. Horton sugirió un factor adimensional de forma  $R_f$ , como índice de la forma de una cuenca así:

$$R_f = \frac{A}{L_b^2}$$

Donde a continuación detallaremos: “A es el área de la cuenca y L es la longitud de la misma, medida desde la salida hasta el límite

de la hoya, cerca de la cabecera del cauce más largo, a lo largo de una línea recta.” Este índice y su recíproco han sido usados como indicadores de la forma del hidrograma unitario.

✓ **Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius.**

Este está definido como la relación entre el perímetro  $P$  y el perímetro de un círculo que contenga la misma área  $A$  de la cuenca hidrográfica:

$$K = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde  $R$  es el radio del círculo equivalente en área a la cuenca. Por la forma como fue definido:  $K \geq 1$ . Obviamente para el caso  $K = 1$ , obtenemos una cuenca circular.

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría. Sin embargo, este índice de forma ha sido criticado pues las cuencas en general tienden a tener la forma de pera.

➤ **Pendiente promedia de la cuenca**

Es de mucha importancia esta sección ya que nos dará conocer el índice de la velocidad media de la escorrentía y también su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca. “Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el muestreo aleatorio por medio de una cuadrícula; llevando las intersecciones de la cuadrícula sobre el plano topográfico y calculando la pendiente para todos puntos arbitrariamente escogidos ver figura 06 Con todos estos valores se puede construir un histograma de pendientes que permite estimar el valor medio y la desviación estándar del muestreo de las pendientes.” Las pendientes para los puntos dados por las intersecciones de la

cuadrícula se calculan teniendo en cuenta la diferencia de las dos curvas de nivel entre las cuales el punto quedó ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado.

También hay otros métodos importantes y bastante utilizados, como es el siguiente: “se monta sobre la cuenca una cuadrícula de tamaño conveniente. Se cuentan los cortes de las curvas de nivel con los ejes horizontal y vertical de la cuadrícula respectivamente y se tiene:”

$$S_h = \frac{n_h H}{L_n}$$

$$S_v = \frac{n_v H}{L_v}$$

**Dónde:**

$H$  es la diferencia de cotas entre curvas de nivel.

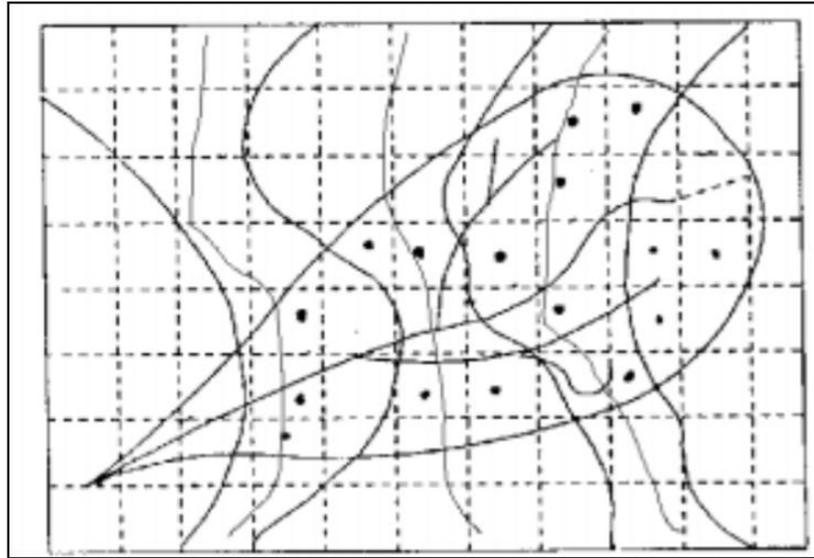
$n_h$  es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada este.

$n_v$  es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada norte.

$S_h$  y  $S_v$  son la pendiente horizontal y vertical de la cuenca respectivamente. Se tiene entonces que la pendiente promedio es:

$$S = \frac{S_e + S_n}{2} \times 100\%$$

Recordar también que este método es bastante dependiente de la orientación que se le dé a la cuadrícula de referencia.



**Figura 6:** Método para hallar la pendiente  $S$ , en una cuenca.

➤ **Densidad de Drenaje**

Es la relación,  $D_d$ , entre la longitud total a lo largo de todos los canales de agua de la cuenca en proyección horizontal y la superficie total de la hoya:

$$D_d = \frac{\sum I_i}{A}$$

**Dónde:**

$\sum I_i$ : Longitud total de todos los canales de agua en km

A: área en km<sup>2</sup>

$I_i$ : Longitud de cada cauce

Generalmente “los valores bajos de  $D_d$  están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables, de relieve montañoso y con poca vegetación.”

El valor inverso de  $D_d$  significa un promedio del número de unidades cuadradas que se necesita para mantener un caudal de una unidad de longitud. Por esta razón:  $1/ D_d$  suele ser llamada constante de mantenimiento de un canal.

El coeficiente de cubrimiento de bosques describe al porcentaje de la superficie de la cuenca ocupada por bosques o por otro tipo de vegetación. Valor importante pues en la comparación de cuencas no es lo mismo cuencas urbanas o agrícolas o de bosques naturales densos o claros.

### **Cálculo de infiltración:**

Para el cálculo de la tasa de infiltración básica, se realiza la prueba de anillos concéntricos.

Para el análisis de los datos se utilizó el método de **Kostiakov Lewis**, dicho modelo está basándose en que la velocidad de infiltración decrece con el tiempo siendo representada por la siguiente expresión:

$$I = Kt^n$$

Dónde:

I = velocidad de Infiltración (cm/h)

t = tiempo acumulado de infiltración (min)

k = parámetro que representa la velocidad de infiltración cuando el tiempo es 1 min

n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo. Tiene valores entre -1.0 y 0, siendo -0.5 su valor más común.

Con el modelo también se puede determinar la infiltración básica ( $I_b$ ) que es la velocidad de infiltración que permanece más o menos constante, es decir cuando la variación de la lámina infiltrada con respecto al tiempo es muy pequeña. Esta depende también de  $k$  y  $n$ .

$$I_b = (-600n)$$

Esta es la ecuación que determina la infiltración constante a partir del momento de saturación, la cual es la que realmente se necesita ya que se necesita la infiltración que se da desde el momento en que los lagos están completamente llenos, lo que implica que el suelo debió haber llegado ya, a su estado de saturación.

### **Cambio climático:**

Es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana alterando la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables.

Sin embargo (Miller, 2007), se refiere a *“los cambios en cualquier aspecto del clima, tales como: la temperatura, precipitación e intensidad y las rutas de las tormentas.”*

A continuación se menciona “los factores que afectan los cambios de la temperatura media de la tierra y el cambio climático son los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano, hidratos de metano.” (Miller, 2007).

Sin embargo, la Cumbre de Poznan, Polonia, 2008, consideró que el cambio climático se debe a la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles.

### **Reducción de riesgos de desastres:**

La reducción del riesgo de desastres (RRD) busca reducir los daños ocasionados por las amenazas naturales, tales como terremotos, sequías, inundaciones y ciclones, a través de una ética de prevención. Los desastres 'naturales' no existen. Sólo existen las amenazas naturales.

Por lo general, los desastres son la causa de una amenaza natural. “La severidad de éstos depende de los efectos que genere una amenaza en la sociedad y en el medio ambiente. A su vez, la magnitud de los efectos depende de las decisiones que tomemos tanto para nuestras vidas como para nuestro entorno.” Estas decisiones se relacionan con la forma en que producimos nuestros alimentos, dónde y cómo construimos nuestras viviendas, qué tipo de gobierno tenemos, cómo funciona nuestro sistema financiero y hasta qué impartimos en las escuelas. Cada decisión y acción que tomamos nos hace más vulnerables a los desastres, o por el contrario, más resilientes.

La reducción del riesgo de desastres es el concepto y la práctica de reducirlos a través de esfuerzos sistemáticos para analizar y disminuir los factores que causan los desastres.” Entre los ejemplos de tareas para reducir el riesgo de desastres se pueden mencionar la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad, tanto de las personas como de sus propiedades, una gestión sensata de los suelos y del medio ambiente, y una mejor preparación y sistemas de alerta temprana para enfrentar eventos adversos.

### **Diques o refuerzos rústicos:**

“Señala que es un muro construido para la contención de aguas en mares, ríos y lagos, así como para la formación de presas y embalses o para tender ferrocarriles, carreteras y canales sobre depresiones o elevaciones del terreno.” (ALUNI, 2002)

Un dique es un muro artificial o natural que impide que el agua abandone su curso. También se puede utilizar para desviar el río para aumentar la tierra para la construcción. En algunos países, los diques se usan para evitar que el agua fluya tierra adentro desde el mar o desvíe el curso del río revelando un suelo fértil. También se pueden usar para evitar que los ríos se desborden en las ciudades durante las tormentas. Son

características muy importantes, pero si se rompen, las consecuencias son desastrosas.

### **Reservorios:**

También llamados qochas son pequeños depósitos temporales de agua, ubicados en las cabeceras de cuenca y formados por diques que retienen y represan agua de lluvia. A través de una lenta infiltración del agua, las qochas de siembra permiten una recarga permanente del acuífero y mantienen la disponibilidad de agua en los manantes aguas abajo. Estas estructuras no pueden ser impermeables, ya que deben permitir que el agua continúe su recorrido en el subsuelo.

“Pueden ser naturales, cuando se forman en una depresión existente en el paisaje y artificiales, cuando han sido hechas por el hombre. También pueden ser una combinación, es decir, donde había una pequeña depresión, el hombre ha logrado un mayor almacenamiento de agua, mediante la construcción de un pequeño dique, el cual genera un área más grande de infiltración.” (Canales, 2018)

### **Siembra y cosecha de agua:**

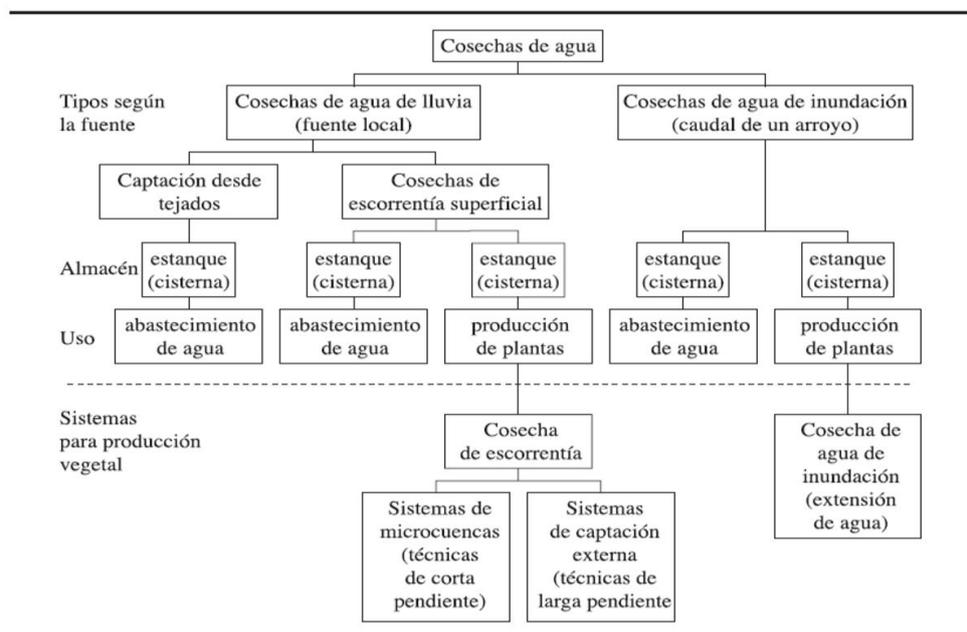
La siembra y cosecha de agua conjuga todas las alternativas tecnológicas prehispánicas y modernas, y consiste básicamente en el almacenamiento del recurso hídrico mediante la construcción masiva de zanjas de infiltración en terrenos con pendiente y el establecimiento de plantaciones en las cabeceras de cuencas hidrográficas, donde nacen los ríos.

Del mismo modo, se logra a través de la construcción de terrazas de formación lenta con barreras vivas (árboles y arbustos), la construcción y protección de presas, reservorios y estanques en partes estratégicas.

La cosecha de agua está definida como la recolección y concentración de agua de escorrentía, para usos productivos como el cultivo de pastos,

árboles frutales y maderables; animales, acuicultura, recarga acuífera, belleza escénica y para usos domésticos.

Existen diferentes métodos para cosechar agua, en la figura 2 se muestra un esquema de como clasificarlos. La existencia de estas técnicas permite tener un conocimiento de cuales de ellas podrían ser aplicables en países donde las condiciones climáticas se acerquen a las zonas estudiadas, o buscar la manera de adaptarlas a la zona donde se esté trabajando y al uso que se le vaya a dar al agua cosechada.



Fuente: Manso, 2007.

Para determinar cuál es el método más adecuado para almacenar agua de lluvia y/o escorrentía (Mijares, 1989) indica que hay que considerar los siguientes criterios:

- “El objetivo por el cual se recolecta el agua; por ejemplo si es para cultivar algo, cual es la demanda que este va a tener.
- La pendiente del terreno
- Las características del suelo
- Los costos de construcción

- La cantidad, intensidad y distribución estacional de las lluvias.
- Factores sociales, tales como la tenencia de la tierra y las prácticas tradicionales del uso del agua.”

### **Forestación y reforestación (especies):**

“La reforestación es el repoblamiento o establecimiento de especies arbóreas o arbustivas, nativas o exóticas, con fines de producción, protección o provisión de servicios ambientales, sobre suelos que pueden o no haber tenido cobertura forestal.

Según la Ley Forestal, una plantación es el terreno en el cual se han instalado árboles de una o más especies forestales, nativas o exóticas, con fines de producción, protección o provisión de servicios ambientales, o una combinación de ellos.

Una plantación de enriquecimiento es la técnica o práctica de regeneración asistida, consistente en plantar especies forestales, en bosques primarios o secundarios con el fin de mejorar la producción y el valor futuro del bosque.

El establecimiento de plantaciones va acompañado de actividades de preparación de suelos (mejora la captación de nutrientes y humedad), como también avanzadas técnicas de control de malezas y fertilización de los suelos, lo que facilita el crecimiento de los árboles. Las plantaciones forestales se realizan mediante la participación de gran número de trabajadores capacitados y competentes.

Un uso sostenible de los bosques exige un adecuado equilibrio en las técnicas de silvicultura para mantener la adecuada proporción de bosques naturales y explotar las plantaciones de la forma menos dañina posible.”

### **(Plan nacional de reforestación)**

## **Precipitación:**

Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. (También rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total)

En relación a su origen, pueden distinguirse los siguientes tipos:

- “Las *ciclónicas* son las provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón. La mayor parte del volumen de precipitación recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitaciones.
- Las de *convención* se producen por el ascenso de bolsas de aire caliente; son las tormentas de verano.
- Las precipitaciones *orográficas* se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa.”

*“El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca. También es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras públicas, estudios de erosión, etc.” (Sánchez, 2017)*

## **Precipitación efectiva:**

“Se denomina precipitación efectiva (PE) la lluvia que es útil o utilizable por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla” (agua disponible).

Si la cantidad de lluvia es muy pequeña, puede ocurrir que no sea aprovechada porque toda o parte de ella queda en la superficie de la vegetación y de allí se evapora. Si llega al suelo y este se encuentra muy

seco, puede que el agua quede retenida con alta energía y no esté disponible para las raíces. Al contrario, si la cantidad de lluvia es muy grande o cae con gran intensidad, especialmente en suelo desprotegido, una parte de ella no se infiltra ni almacena en el suelo produciendo un volumen sobrante (escorrentía superficial), el cual debe ser conducido de forma conveniente fuera del campo o almacenado en estructuras de contención para evitar que produzca daños. También puede suceder que el suelo quede saturado y parte del agua infiltrada salga de la zona radical por percolación o escorrentía sub superficial.

Se han probado muchas maneras de estimar la parte de la lluvia que es aprovechable, lo cual es difícil, por el número de variables involucradas y el dinamismo del proceso.

Aunque no se llega a valores muy precisos, la experiencia ha comprobado que hay métodos que estiman la precipitación efectiva en valores que se acercan a la realidad.

El método del balance diario de la humedad del suelo es considerado el más preciso para estimar la lluvia efectiva, pero, en la práctica, durante la planificación de un caso de captación de lluvia no se dispone comúnmente de datos suficientes para aplicarlo. Sin embargo, si la región cuenta con datos de balance diario generados en experimentos de balance de agua en el suelo, estos deben ser los valores utilizados, por su precisión.

Sin embargo, si no se cuenta con el método del balance diario, se pueden utilizar otros métodos para estimar la lluvia efectiva. (**Dastane, 1978**)

### **3.2. ANTECEDENTES**

**Silva, O. (2017).** En su investigación: “Análisis del Índice de Vulnerabilidad a Sequía e Identificación de Sitios para Cosecha de Agua en la Subcuenca Media del Rio Viejo, Nicaragua”. Los objetivos del

estudio fueron “*analizar el índice de vulnerabilidad a sequía, identificar y caracterizar sitios para la cosecha de agua, y proponer obras adecuadas para captar y almacenar la escorrentía para satisfacer las necesidades hídricas de la producción agropecuaria familiar.*” En el proceso se utilizó información disponible de datos meteorológicos de 6 estaciones del INETER, canícula, agua subterránea, MED, cobertura, uso de suelo, tipo de suelo, mapas de conflictos de uso de suelo y densidad poblacional. Logró realizar “una primera propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua para todos los sitios identificados desde un punto de vista conceptual” con el fin de abastecer el déficit total en las fincas, sin embargo, se hizo una segunda propuesta con dimensiones ajustadas a los requerimiento y capacidades de los sitios según levantamiento de campo y consulta realizada a los productores. Las obras de cosecha de agua propuesta fueron diseñadas únicamente para compensar pérdidas por evaporación, por lo cual debe de garantizarse durante la construcción mediante la impermeabilización que las pérdidas por infiltración sean despreciables. El modelo HEC-HMS usado para este estudio con los parámetros utilizados permitió una buena estimación de las avenidas de agua que se generan en las áreas de drenaje de los sitios identificados para el dimensionamiento de la obra de embalse y vertedores de exceso ante eventos de precipitación máximos.

**Giraldo, F. (2016).**En su investigación: “Diseño y Construcción de un Sistema Recolector de Aguas de Lluvias para el Módulo Eco sostenible de la Fundación KYRIOS, 2016”. Presenta el estudio de “*diseño para el desarrollo del sistema de recolección de aguas lluvias*” llevado a cabo por los estudiantes del semillero de energías renovables para abastecer con agua lluvia las viviendas eco sostenibles de la fundación de rehabilitación cristiana kirios. “La recolección de agua lluvia en una casa, este líquido o fluido es guiado por un área de techo a un tanque de reserva que se encuentra a la altura de desembocadura del canal y éste contiene una bomba eléctrica conectada a un panel solar el cual distribuye el fluido a un nivel superior para la respectiva distribución dentro de la vivienda.”

**León, L. (2016).** En su investigación: “Aprovechamiento Sostenible de Recursos Hídricos Pluviales en Zonas Residenciales”. La presente investigación aborda el tema del aprovechamiento de agua mediante un sistema de captación de aguas pluviales, la cual es una práctica poco utilizada, pero interesante tanto en el aspecto ambiental como en el aspecto económico. “El sistema se basa en la captación del agua de lluvia a través de los techos, la cual se utilizará directamente en las viviendas como alternativa de ahorro para distintos usos. Se tiene como caso de estudio, la implementación de dicho sistema en viviendas residenciales de la sierra peruana.” El lugar de estudio fue la Nueva Ciudad de Morococha, ubicada en la Provincia de Yauli, Departamento de Junín, en la zona central del Perú.

**Lahaud, J. (2016).** En su investigación: “La Siembra y Cosecha de Agua. Fricciones entre el Conocimiento Local y la Tecnoocracia Estatal Frente al Cambio Climático. El Caso de la Comunidad Campesina Quispillaccta, Ayacucho”. Tuvo como objetivo conocer y analizar los efectos que genera el proceso de experimentación de la práctica local Siembra y Cosecha de Agua y el rol que cumple el Estado como agente de este proceso. “Todo esto en el marco del Premio Nacional Ambiental 2014, específicamente en el Concurso de Buenas Prácticas frente al Cambio Climático.” La intervención del Estado señala dentro de sus objetivos el fortalecimiento de la política pública en el contexto del cambio climático a partir de las experiencias que hayan mostrado ser efectivas en su adaptación al fenómeno. “Su efectividad estaría justificada en el valor del conocimiento ancestral relativo a comunidades andinas y nativas. Es así que la Siembra y Cosecha de Agua gana el primer puesto en la categoría de Buenas prácticas frente al cambio climático que conjugan e integran conocimiento local o tradicional y conocimiento moderno.”

**MINAGRI (2015).** “Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua.” Aportes y reflexiones desde la Práctica. Se identificaron de 15 experiencias en diversas zonas del país, destacando:

**Crianza de agua en la Comunidad Campesina de Quispillacta, Ayacucho (1994).** Se centra en el manejo de un conjunto de lagunas artificiales construidas en hondonadas o vasos naturales que almacenan agua de escorrentía. “Los reservorios cumplen al tiempo que almacenan la función de hacer infiltrar el agua. Sumando las 102 lagunas que se realizaron, se logró una capacidad de almacenamiento de 1.7 millones de m<sup>3</sup>.” El agua infiltrada en el subsuelo surge aguas abajo en manantiales nuevos o incrementando el caudal de los ya existentes. Se complementa con la protección de manantes con cercos, y la instalación de las denominadas “plantas llamadoras del agua”. Los bofedales que se generan permiten el repoblamiento de pastizales. “La experiencia combina la infraestructura gris con prácticas culturales, sociales y ambientales. Los beneficios son diversos. Destacan la formación de humedales, recarga de manantiales, fortalecimiento de la relación con la naturaleza, valoración cultural y una perspectiva de servicio ecosistémico a la ciudad de Huamanga.”

**Siembra y Cosecha de Agua en el Distrito de Santo Domingo de Capillas, Huancavelica (2012).** El componente físico tiene dos partes. “Primero, en la cabecera de la microcuenca se hizo mantenimiento y se ampliaron áreas de zanjas de infiltración y clausura de pastizales.” En esta zona el Proyecto Adaptación al Cambio Climático y Reducción del Riesgo de Desastres en Cuencas Priorizadas de Ica y Huancavelica (ACCIH) instaló un sistema de monitoreo hidrológico apoyado por CONDESAN. “Segundo, en las zonas laterales de la microcuenca se apoyaron iniciativas privadas de los agricultores para construir pequeños represamientos (diques rústicos o ‘atajaditos’) que colectan agua de lluvia para infiltración, así como micro reservorios en tierra (‘estancos’) que alimentan los manantiales cercanos y cuyas aguas además son captadas para riego.” Estos también han sido considerados en el sistema de monitoreo hidrológico. Se redujo el tiempo de llenado de reservorios de riego alimentados por manantiales en meses de estiaje; recuperación de pastos y bofedales cerca a las zanjas de infiltración y diques rústicos; repoblamiento de las vicuñas, valoración al aporte de los Kamayrc.

**Siembra y Cosecha de Agua en la microcuenca de Huacrahuacho, Cusco (2011).** Consistió en la construcción de q'ochas o represas rústicas como reservorios de agua, en zonas de depresión natural (hondonadas), o para aumentar la cota de las lagunas naturales, donde se construyeron diques para el incremento de la capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua. “Las q'ochas son el centro de un conjunto de medidas que incorporan forestación, zanjas de infiltración, manejo de pasturas naturales (cercos), acequias colectoras o aductoras. Resalta la metodología de concursos interfamiliares y grupales, mediante los cuales los pobladores postularon al apoyo institucional para la siembra y cosecha de agua.” La experiencia se complementa con el estudio hidrogeológico de funcionamiento de las q'ochas y las pasturas en la recarga de acuíferos en la microcuenca de Huacrahuacho. La iniciativa permitió incrementar la capacidad de almacenamiento en un adicional de 74 991 m<sup>3</sup> de agua. Los beneficios fueron: mayor cobertura vegetal, mas disponibilidad de alimento para el ganado y regulación del ecosistema, incremento del caudal de manantiales, estudios hidrogeológicos con el uso de trazadores, recuperación de diversidad (variedad agrostológica), mejora de la belleza paisajista, etc.

**Siembra y Cosecha de agua en la comunidad de Huamantanga, Lima (2015).** Consistió en reactivar la infraestructura ancestral denominada canales de “mamanteo”. En términos hidrogeológicos, el esquema es similar a las “amunas” (Provincia de Huarochirí) que conducen e infiltran agua a zonas de buena capacidad de infiltración (en este caso, estratos, calcáreos) y permiten la recarga de manantiales aguas abajo. “En la zona, CONDESAN ha trabajado la metodología de monitoreo hidrológico, que consiste en un análisis comparativo de cuencas pares, una intervenida y otra testigo. El monitoreo ha permitido ver la conectividad entre el canal de mamanteo y manantiales cercanos a la población; lo que reforzó la confianza de la población en el mantenimiento de esta práctica (mamanteo).” La participación de la población ha permitido actividades de manejo de praderas; la limpieza del canal de mamanteo, cuidado de los

equipos instalados para el monitoreo y se potenció expresiones sociales de organización para el trabajo comunitario (recomposición de las parcialidades por barrios).

**Siembra y Cosecha de agua en la comunidad campesina Pillao Matao, Cusco (S/F)** Gracias a diversos proyectos, GPA implementó un conjunto de prácticas con la idea de poder infiltrar agua en la parte alta de la comunidad y captarla en la parte baja (Valle Sur). “La estructura pensada para tal fin fue la galería filtrante tipo túnel colector. Se basaron en experiencias anteriores de Centro Guamán Poma de Ayala (GPA).” En torno a las galerías, se realizaron trabajos de (re) forestación con especies nativas y plantones de pinos; construcción de amunas; construcción de zanjas de infiltración; manejo y protección de pastoreo y demás cobertura vegetal. “Se logró dotar de agua a la comunidad de Pillao Matao fortaleciéndose las IASS incorporando tarifas domiciliarias por agua. Aumentó la disponibilidad de agua para la agricultura y se promovió la crianza de cuyes, etc.”

**Cosecha de agua en la microcuenca de Chiuchilla, Arequipa (1966).** Se han construido micro represas en tierra y con diques de arcilla compactada y piedra, complementada con la distribución del agua para regar pastos que permite la infiltración para incrementar la humedad in situ de los suelos y subsuelos. “De esta forma, tanto los pastos y humedales formados, como el volumen del agua almacenada en los reservorios, son aprovechados por la población, sobre todo en los meses de agosto a diciembre que son épocas de estiaje. Complementan al sistema, la organización para cercar las áreas de pastos y la rotación del pastoreo. La implementación de 6 microrepresas y 11 espejos de agua aporta un total de 1'176, 082 m<sup>3</sup> a la capacidad de regulación hídrica local, así como el riego de 206 ha de pastos naturales.” Se instalaron pastos cultivados, se mejoró la provisión de alimentos, aumento de producción alfalfa, fortalecimiento organizacional, etc.

**Cosecha de Agua en la Comunidad Campesina de Antacollana, Cusco (S/F).** Consiste en una propuesta tecnológica mixta, de construcción de pozas individuales, atajadas a manera de diques continuos y escalonados, de ampliaciones de humedales (q'ochas), dependiendo dónde se puede capturar el agua de lluvia. “En muy pocos casos cuentan con área de recarga de aguas subterráneas. En las pozas o bateas construidas por las propias familias, los animales tienen una fuente de agua, entrando a abreviar en los bordes.” Algunas pozas también alimentan agua al subsuelo y permiten humedad en el terreno. Hay pozas para consumo poblacional. Son cerca de 46 comunidades con 1388 familias, que lograron construir un total de 1640 micro presas individuales y 123 reservorios grupales y comunales. “En suma, se estima que la capacidad incrementada de almacenamiento alcanza los 306 085 m<sup>3</sup> de agua solo en los reservorios medianos. Se mejoró la crianza pecuaria, menos migración de jóvenes varones, reducción de conflictos sociales por el agua, mejor paisaje, etc.”

**Cosecha de Agua en la Microcuenca de Ccatcca Mayo, Cusco (1998).** Se inició con la construcción de un dique de arcilla, piedras y arena en un vaso hidrográfico localizado y previamente estudiado en su hidrología y geología básica (hidrogeología). “Se identificó la cuenca tributaria y se diseñaron los canales de aducción para la recarga del reservorio en tierra. Se complementó la infraestructura de micro represa con válvulas de salida, tendido de tubería de conducción, cámaras de carga, hidrantes, etc.” También se cercaron las áreas adyacentes para proteger los diques del ganado y se forestaron las áreas tributarias. Posteriormente la forestación se amplió a otras zonas de la microcuenca.

**Siembra y cosecha de agua en la cuenca alta del río Lurín, Lima (S/F).** Se inició con el reservorio de mampostería en Yanasiri y luego Yanasiri II, con apoyo de PRONAMACHCS. Ya en el 2007, se impulsó la construcción de los embalses de Oruri, Cantajuayqui, Huachincara, Hueccho, Cancasica; “sumando una capacidad de 931 mil m<sup>3</sup> de almacenamiento; además un embalse de 2 millones de m<sup>3</sup> que se

comparte con el distrito adyacente de Santiago de Tuna.” Se logró combinar la cosecha de agua con el mejoramiento de las “amunas” y los trabajos de forestación en áreas eriazas, así como el manejo de pasturas para permitir la infiltración y recarga de manantiales. Se optimizó el uso de agua en la instalación de riego tecnificado en frutales, hierbas aromáticas, pastos cultivados, arvejas, papas nativas, etc.

**Cosecha y siembra de agua en la cuenca de la laguna de Quescay, Cusco (2006).** “El IMA elabora un proyecto bajo el marco del SNIP que fue aprobado en el 2006, y se ejecutó del 2008 al 2010. En el proyecto se propuso la ampliación del embalse de la laguna de Quescay, y un túnel de trasvase y derivación de aguas hacia Colquepata.” Se complementó con acciones de manejo del vaso de la laguna, como la clausura de pastos, instalación de zanjas de infiltración y paralelamente el fortalecimiento de la organización de usuarios. “Se formaron técnicos campesinos en la gestión del agua. Así se logró una capacidad adicional de almacenamiento de más de 2 millones m<sup>3</sup> de agua a ser recargada con la lluvia.” Se construyeron zanjas de infiltración para apoyar la recarga, pero luego de un estudio hidrogeológico se determinó que la cuenca hidrogeológica no coincidía con la delimitación superficial (topográfica) de la cuenca hidrológica. “Por ello se realizó un canal de trasvase (aducción) que capta agua de tres quebradas en la microcuenca adyacente que escurren hacia Tiracancha. Ante un potencial conflicto, se generó un acuerdo en torno al uso de la laguna, incorporándose la comunidad de Tiracancha al proyecto.” Se recuperó la cobertura vegetal, forestación y reforestación, incremento de caudal de fuentes de agua (10% a 12% en los manantes), incremento de bofedales dentro y fuera de la cuenca, incorporación de 270 hectáreas de cultivos bajo riego, etc.

**Siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Chavín – Topara, Ica (S/F).** La propuesta tiene dos etapas. “En la primera se realizó la construcción de un reservorio de tierra con maquinaria pesada en la cabecera de la microcuenca y en las laderas adyacentes al cauce principal.” Se construyeron micro reservorios de aproximadamente 5000

m<sup>3</sup> cada uno, impermeabilizados con geomembrana, que son precisamente utilizados para riego, tanto de cultivos como de plantaciones forestales, estos últimos hasta los primeros 2 años de crecimiento. En una segunda etapa, se trabajó la mejora de la capacidad de captura, infiltración y retención de las aguas de lluvia manejando los suelos y la cobertura vegetal. Se logró que las juntas nacionales tengan sus planes de desarrollo comunal, presupuestos participativos, etc.

### 3.3. CONCEPTOS BÁSICOS

**Cosecha de agua.-** Es la captación de la precipitación pluvial para usarse en la vida diaria. Este tipo de práctica ayudaría en gran medida a bajar la explotación de los mantos freáticos ya que se dejaría de usar agua que podría ser potable y en vez de eso utilizar el agua de lluvia en cosas como el baño, regar plantas, entre otras cosas, todo esto reduciría también nuestra huella hidrológica. Actualmente este tipo de práctica es cada vez más popular en climas áridos que es en donde sufren mayor escasez de agua. (**Wikipedia, 2018**).

**Captación.-** En el contexto del agua se le denomina a la recolección del recurso hídrico. Existen varios sistemas de captación del agua de lluvia, que apuntan a recolectar y almacenar dicha agua para luego darle un uso. (**A. Espinoza, 2018**)

**Almacenamiento.-** Sirve como depósito donde se va almacenar el recurso hídrico, producto de las precipitaciones medias y altas. (**Autores, 2018**)

**Ciclo hidrológico.-** Es el ciclo fundamental para entender los procesos que se suceden en la tierra. Requiere conocimientos multidisciplinarios. No existe un punto de partida en el ciclo del agua en la tierra pero lo que sí está claro es que se basa en todos los estados del agua, gas, líquido y sólido. Todos los estados se presentan en la naturaleza y todas ellas son importantes de cara a los recursos humanos. Lo más importante es tener en cuenta la interrelación

del hombre con la naturaleza y su influencia en el ciclo del agua. (**BATEMAN, 2007**)

**Tirante hidráulico.-** Resultado de dividir el área hidráulica por el ancho superficial del agua, parámetro fundamental en el estudio del movimiento de un fluido en un canal abierto, y también, en un canal rectangular la distancia entre la lámina de agua y el fondo. (**Real academia de ingeniería, S.F.**)

**Caudal.-** Se define como el volumen líquido que pasa por una sección normal de corriente de agua en una unidad de tiempo. (**Organización meteorológica mundial, 2012**)

**Curva de nivel.-** Línea trazada sobre un mapa que conecta a los puntos de igual valor de una propiedad. (**Organización meteorológica mundial, 2012**).

**Precipitación.-** Es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. Desde el punto de vista de ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria de la superficie terrestre y sus mediciones forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (**M.VILLÓN, 2002**)

**Periodo de avenida.-** Se define como el período donde las precipitaciones pluviométricas caen con mayor regularidad, lo que permite almacenar el agua en reservorios para el uso en sistemas hidráulicos. (**COES-SINAC, 2010**)

**Periodo de estiaje.-** Se define como el período donde las precipitaciones pluviométricas disminuyen, lo que produce una reducción en los caudales naturales, por ello es necesario suplir estos meses con agua almacenada. (**COES-SINAC, 2010**)

**Cauce.-** Curso de agua claramente definido por el que fluye agua de forma periódica o continua. (**Organización meteorológica mundial, 2012**).

**Periodo de retorno.-** Frecuencia de crecidas, probabilidad de crecida, suceso con período de retorno de “n” años. (**Organización meteorológica mundial, 2012**).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **4.1.1. Materiales**

- ✓ Hojas A4 (75g)
- ✓ Estacas (Madera)
- ✓ Wincha
- ✓ Botas
- ✓ Chalecos
- ✓ Gorros
- ✓ Martillo
- ✓ Hacha
- ✓ machetes
- ✓ Indumentaria del investigador
- ✓ Escalímetros
- ✓ Lápiz 3B
- ✓ Lapiceros
- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Pintura (esmalte)

#### **4.1.2. Equipos**

- ✓ Eclímetro
- ✓ Cartas Nacionales Escala 1/100 000 (IGN)
- ✓ Computadora, Laptop.
- ✓ Calculadora.
- ✓ GPS.
- ✓ Estación total (Topcon-GPT 3000).
- ✓ Nivel (Topcon AT-B4)

- ✓ Celular.
- ✓ Memoria USB
- ✓ Software aplicado: Autocad, Civilcad, Surfer, Hec Ras, office 2017. etc.

## 4.2. METODOLOGÍA

El presente estudio se dividió en dos etapas: campo y gabinete para estimar el caudal de escorrentía a base de las precipitaciones y/o uso de los modelos de cuencas secas; así como la capacidad de almacenamiento en el embalse.

El método Usado en la presente investigación fue el **método científico**, siguiendo la metodología practica para solucionar un problema específico de la captación de agua en terrenos eriazos lo cual implica un procedimiento metodológico para poder comprobar la hipótesis de nuestra propuesta y es la siguiente:

1. Hacer estudio Topográfico (Planimetría, Altimetría) de la micro cuenca de la quebrada Garbanzal, en la zona de Garbanzal distrito de San Juan de la Virgen-Tumbes.

Esta etapa consiste en realizar un levantamiento topográfico con estación total dela micro cuenca de la quebrada garbanzal, para posteriormente dibujar la topografía de la zona con curvas de nivel con el software AutoCAD y CivilCAD, con los puntos geo referenciados en UTM en archivos compatibles con el software.

2. Diseñar el sistema de captación y almacenamiento pluvial con su respectivo aliviadero.

Consiste en proponer un diseño de represa de agua para almacenamiento con su respectivo aliviadero, considerando la escorrentía pluvial crítica y el estudio de mecánica de suelos.

3. Calcular el volumen de agua con modelos matemáticos o Software.

Consiste en calcular los volúmenes de agua captados según la carga pluvial de la zona.

4. Evaluar los volúmenes de agua aprovechables.

Consiste en determinar el agua que se puede aprovechar según el tipo de riego y uso doméstico.

#### **4.2.1.Descripción general de las campañas de campo (Misiones)**

- a. Primera campaña de campo (27 al 30 de Julio del 2018)

- Reconocimiento de la microcuenca Garbanzal 2.
- Obtención de características morfológicas de la microcuenca.
- Verificación de estaciones meteorológicas cercanas (Puyango-Campamento Sede)

La estación hidrométrica llamada el “El tigre” ubicada en el centro poblado Higuerón, se encuentra a 7 km de la zona de estudio, cuenta con un rango de registros de cotas y caudales monitoreados a partir del año 1963 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y el Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes (PEBPT).

Dicha estación cuenta con un puente tipo “Huario” de donde se realiza los aforos de líquidos; y una estación tipo Laser.

- b. Segunda campaña de campo (2 al 30 de Julio del 2018)

- c. Herramientas de tratamiento de datos.

#### 4.2.2. Monitoreo de precipitaciones

##### a. Recolección de inventario de la información pluviográfica

**Tabla 4.** *Inventario de estaciones ubicadas en la Cuenca Puyango-Tumbes*

Estación	Altitud (msnm)	Cuenca	Río	Período	Observaciones
El Tigre	40	Puyango Tumbes	Tumbes	1963- 2014	Responsable PEBPT y SENAMHI
Campamento Sede	20	Puyango Tumbes	Tumbes		Responsable PEBPT

##### b. Análisis, crítica y tratamiento de información pluviográfica

La información pluviográfica usada fue de la estación meteorológica fue del campamento sede del PEBPT.

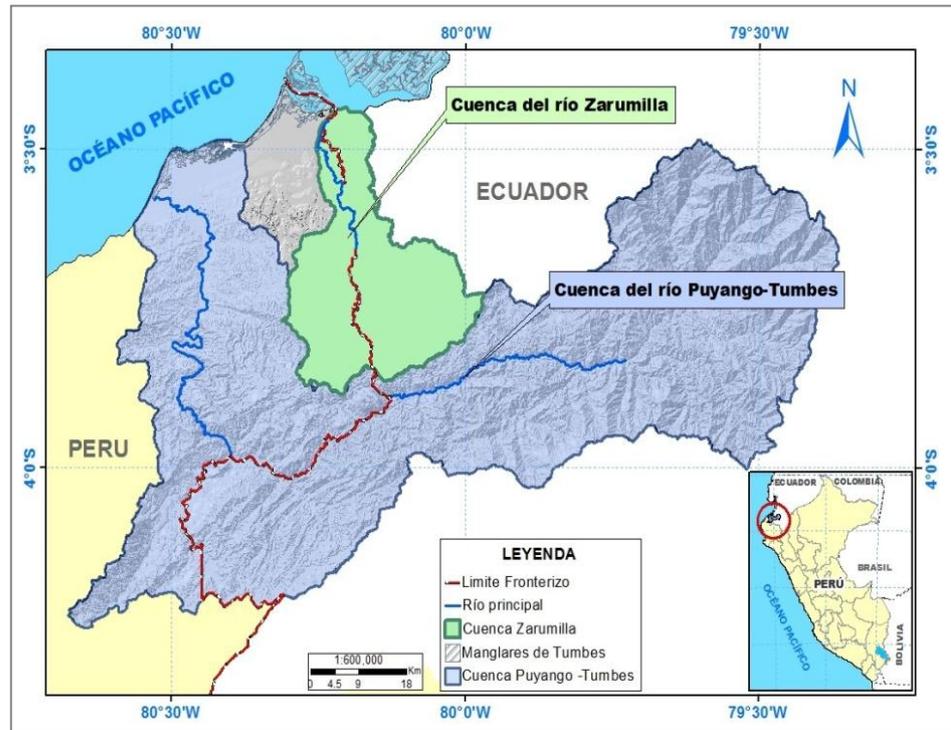
##### c. Análisis de caudales.

Por tratarse de una microcuenca seca no existían datos de caudales medidos; los mismos que fueron generados mediante el uso de los modelos de Iszkowsky y método de Creager.

### 4.3. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.3.1. Ubicación del Proyecto.

El área de estudio se localiza en el Norte del Perú, conocida como micro cuenca Garbanzal que corresponde a la cuenca del río Puyango Tumbes.



**Figura N°08:** Esquema de macro localización del Proyecto.

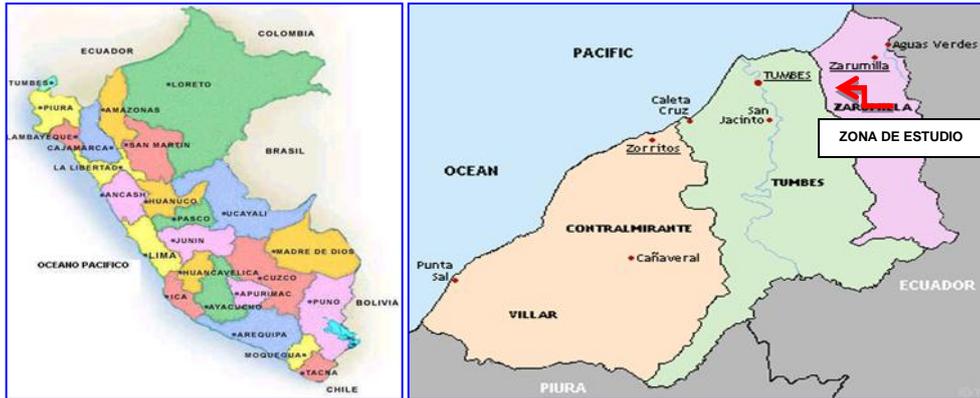
#### 4.3.2. Ubicación Geodésica:

Según el sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84), proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), zona 17 sur, el área de estudio de la Universidad Nacional de Tumbes, se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas:

Coordenadas	
Este	Norte
563501.36	9601793.72

#### 4.3.3. Ubicación Política:

- Región : Tumbes
- Provincia : Tumbes
- Distrito : San Juan de la Virgen
- Localidad : Garbanzal



**Figura N°09:** Esquema de macro localización del Proyecto



**Figura N°10:** Esquema de micro localización del Proyecto

El estudio se ha realizado específicamente en la microcuenca de la Quebrada Garbanzal; cuyas características geomorfológicas son:

- Área
- Perímetro
- Longitud de la Quebrada Garbanzal
- Coeficiente de compacidad

## 1. Recursos hidrológicos

La precipitación anual promedio de cuenca Puyango-Tumbes, está en el orden de 300 mm en la parte baja, 1150mm en la parte media y 2600 mm en las zonas altas de montaña del sector ecuatorial. Las precipitaciones en forma se concentran el 85% al 95% entre los meses de enero a marzo.(INGEMMET, 2006).

**Tabla 5.0.** Resumen de parámetros morfológicos de la microcuenca Garbanzal- Cuenca del río Tumbes -Puyango.

<b>Características de Microcuenca UNT-Garbanzal</b>	
AREA (km <sup>2</sup> )	0.6547
PERIMETRO (km)	3.1700
LONGITUD DE QUEBRADA (m)	640.86
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)	1.1

## 2. Recursos hidrogeológicos

En la región de Tumbes se han identificado tres formaciones hidrogeológicas principales:

- Depósitos de lecho de río (Q1): acuífero libre de origen cuaternario situado en los alrededores del río Zarumilla.
- Depósitos marinos (Q2): acuífero situado por debajo de Q1 se originó en el cuaternario debido a la regresión de agua de mar, las profundidades de esta formación no es más de 40 m en el centro de la cuenca inferior y cerca de 150 m en las partes más cercanas al océano; el tipo de agua es dulce a salobre y se convierte en agua salina en las proximidades de la línea costera (Coello, 2006).

- Acuífero confinado (Ng): acuífero ubicado por debajo de la Q2 se originó durante el tiempo geológico denominado Neógeno, debido a la evolución de este acuífero es considerado acuífero confinado con una Trasmisividad que varía entre 100 hasta 500 m<sup>2</sup>/día, una producción hasta 50 l.s<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>. Este acuífero tiene una calidad de agua muy buena y se puede considerar como fuente segura de agua para demandas futuras.

### 3. Geología

El área de estudio que abarca a las cuencas Puyango-Tumbes y Zarumilla en la zona peruana tiene rangos geo cronológicos comprendidos desde el Paleozoico antiguo y tal vez desde el Precámbrico, Mesozoico, y Cenozoico (INGEMMET, 2006).

#### a. Basamento Precámbrico-Paleozoico inferior

La secuencia estratigráfica se encuentra en las montañas conocidas como “Los Amotapes”, comprendiendo una secuencia antigua no diferenciada, luego constituyendo un Paleozoico inferior tardío.

La unidad litoestratigráficas encontrada es el complejo metamórfico, el cual constituye un complejo de rocas metamórficas dentro de las cuales se tiene gneises graníticos de grano medio, con bandas de cuarzo deformadas y meteorizadas. Sus afloramientos se pueden observar en el río Zarumilla entre Matapalo y Palmar; su **geneisificación** se debe probablemente a su cercanía al granito de Higuierón.

## **b. Mesozoico**

Aquí se encuentran las Formaciones de P azul (Ks-p), Tablones (Ks-ta) y Encuentros (Ks-c). La formación Tablones se trata de conglomerados grises con cantos rodados subredondeados a subangulosos constituidos de cuarcitas, filitas, esquistos granitos, arenisca y caliza dentro de una matriz arcóstica. Hacia la parte superior se intercalan niveles de areniscas que pasan secuencia lutácea de la Formación Pazul. Su contacto inferior con la Fm. Encuentros, está marcado por una discordancia erosional.

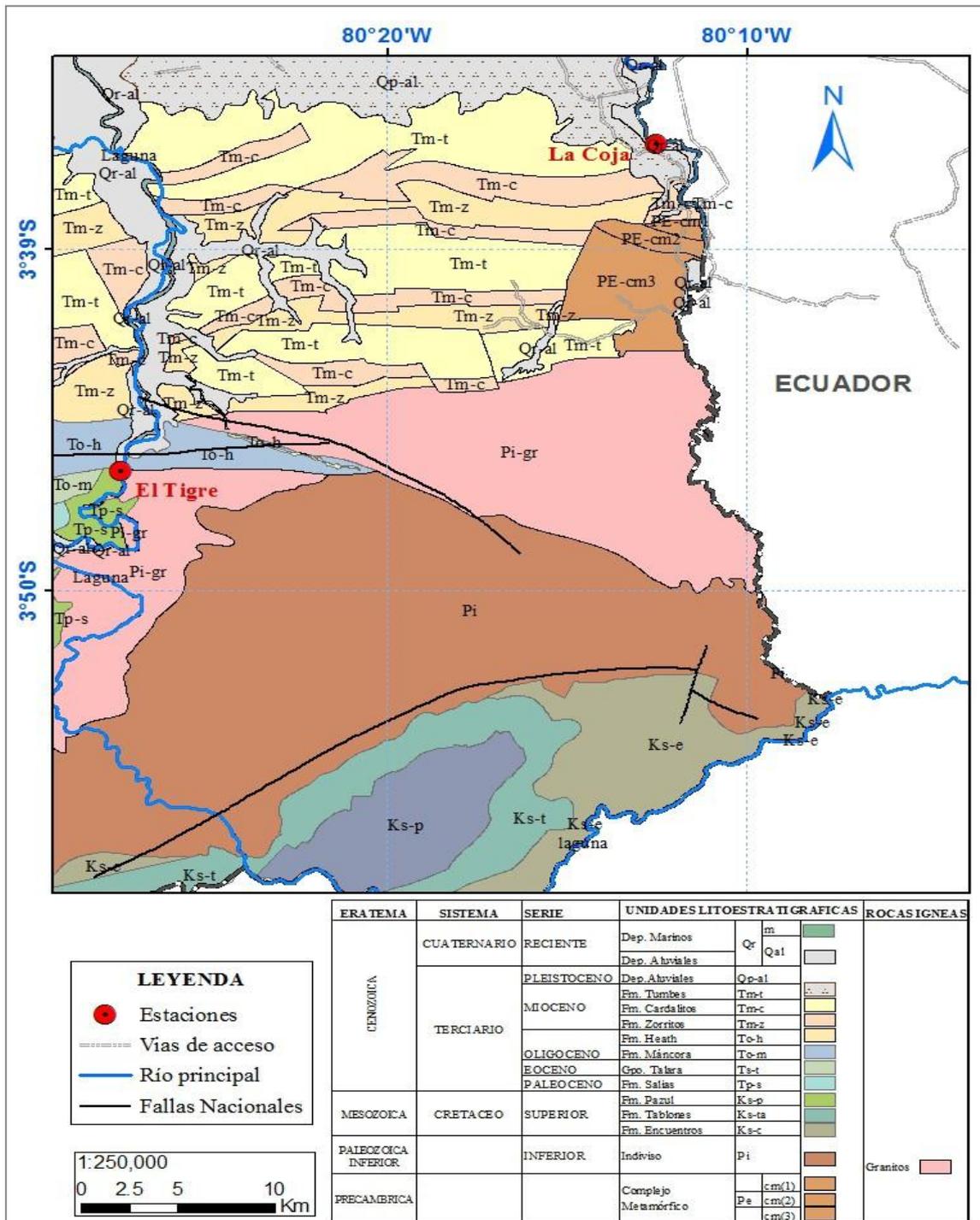
## **c. Cenozoica**

El Cenozoico en la región Noroeste presenta en el Terciario una secuencia marina completa, el área de estudio comprende a la Fm. Salinas, el Grupo Talara, la Fm. Máncora, Fm. Heath, Fm Zorritos, Formación Cardalitos, Fm. Tumbes. También se encuentran Depósitos Aluviales y marinos.

- Formación Salinas (Tp-s): se extiende a lo largo de las estribaciones Noroccidentales de los Amotape y se prolonga hasta la región Máncora. En la parte superior se puede observar lutitas pizarrosas y en algunos casos lutitas moteadas y abigarradas.
- Grupo Talara (Ts-t): es la unidad productiva de petróleo en el Noroeste peruano, las rocas reservorio están constituidas por horizontes areniscosos y conglomerádicos; las facies lutáceas constituyen la rocasello.
- Formación Zorritos (Tm-z): es una formación del Mioceno inferior donde existe una secuencia alternada de lutitas verdosas y areniscas finas cuarzosas y en la base por

areniscas de color gris claro de grano medio.

- Formación Cardalitos (Tm-c): está constituida por lutitas marrón grisáceo intercaladas con lutitas azufrosas.
- Formación tumbes (Tm-t): conformada por una secuencia de conglomerados bastante compactos, areniscas de grano grueso e intercalaciones de lutitas.
- Terrazas marinas (Q-Tm): formado por sedimentos arcillo-arenoso gris verdoso, bandeados, calcáreos y en muchos casos gujarrosos.
- Depósitos aluviales (Q-al): depósitos ubicados a lo largo del lecho del río.
- Depósitos aluvio-coluviales (Q-al/col): se ubican en el fondo de numerosas quebradas del área de estudio.



**Figura 11:** Mapa geológico con las principales unidades litoestratigráficas en la región de Tumbes.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. RESULTADOS.

#### 5.1.1. Evaluación de los volúmenes de cosecha de agua, mediante un estudio hidrológico de la microcuenca Garbanzal - Tumbes.

Para el cálculo de los volúmenes aproximados de cosecha de agua se ha considerado en primer lugar calcular los caudales proyectados y que pueden en forma recurrente presentarse en la microcuenca en estudio. Para ello se ha utilizado dos métodos, método de Iszkowsky y método de Creager. Los caudales estimados serán para los cuatro primeros meses del año (enero, febrero, marzo y abril); que es el periodo en el cual se presenta el 90% de total de precipitaciones.

#### Cálculo del caudal mediante el método de Iszkowski.

$$Q = \frac{k \times m \times h \times A}{1000}$$

**Tabla 6.** Caudal máximo método Iszkowski

ISZKOWSKI
k= 0.056
m= 10
h= 93 mm
A= 0.6547 km <sup>2</sup>
Q= 0.0341m <sup>3</sup> /seg

$$Q = \frac{0.056 \times 10 \times 93 \times 0.6547}{1000}$$

Q= 0.0341m <sup>3</sup> /seg
------------------------------

**Cálculo del caudal mediante el método de Creager.**

$$Q^{MAX} = (C^1 + C^2) \log(T) A^{mA^{-n}}$$

Datos:

**Tabla 7. Caudal máximo método Creager**

METODO DE CREAGER
C1= 1.01
C2= 4.37
A= 0.6547 km <sup>2</sup>
n= 0.04
m= 1.02
T= 2 Años
Qmax= 1.0606 m <sup>3</sup> /seg

$$Q_{MAX} = (1.01 + 4.37) \log(2) 0.6547^{(1.02)(0.6547)-0.04}$$

Qmax = 1,0606 m <sup>3</sup> /seg
-----------------------------------

**Caudal promedio**

Según las tablas 6. y 7. el caudal promedio proyectado con un tiempo de retorno en dos años es el mostrado en la tabla 8.

**Tabla 8. Promedio de caudales**

<b>Promedio Caudales</b>	
CREAGER=	1.0606 m <sup>3</sup> /seg
ISZWOZKI=	0.0341 m <sup>3</sup> /seg
Q prom =	0.54735 m <sup>3</sup> /seg

### **Estimación del volumen de agua cosechada en los cuatro primeros meses del año**

Considerando un promedio de 119 días, que constituyen los 4 primeros meses del año y considerando por precaución técnica el caudal máximo menor obtenido de los modelos estadísticos antes mencionados, se tomará el caudal promedio del método de Iszkowsky de 0.0341 m<sup>3</sup>/seg/día, que equivale a un volumen de 350 602 m<sup>3</sup> de agua por año.

#### **5.1.2. Diseño del sistema de captación y almacenamiento de aguas pluviales en el sector de Garbanzal- Tumbes.**

Para determinar un proyecto de captación y almacenamiento de agua pluviales es necesario el planteamiento de obras no estructurales y estructurales. Entre las obras no estructurales se puede diseñar proyectos de forestación y reforestación de la microcuenca garbanzal; así como obras estructurales tanto para captación y almacenamiento como son zanjas de infiltración en las laderas de la cuenca y el propio reservorio de almacenamiento con sus respectivas obras como presas, aliviaderos y compuertas de regulación. Para el diseño de todas estas obras es necesario tener presente todas las características geomorfológicas de la microcuenca quebrada Garbanzal o del área de influencia de esta zona de estudio; así como todas las características meteorológicas e hidrológicas de la microcuenca garbanzal o de las zonas aledañas a la zona de estudio.

## Textura del suelo

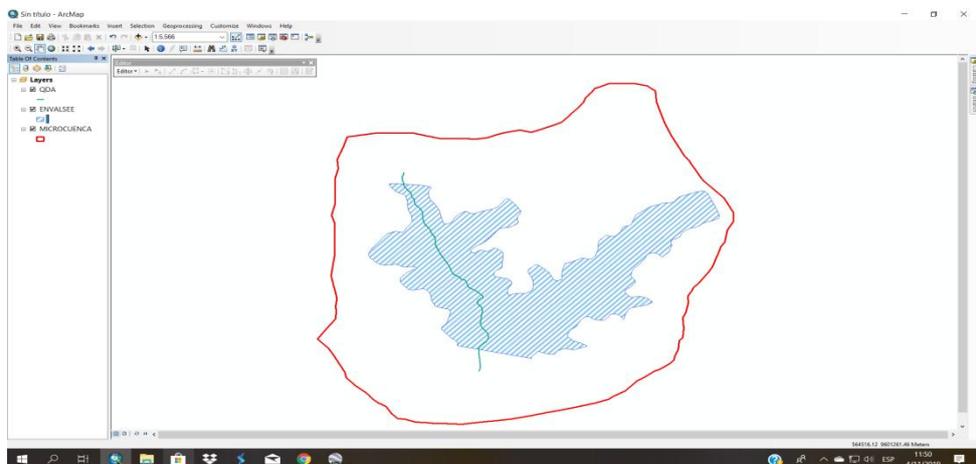
Este parámetro físico expresa la cantidad en porcentaje de arena, arcilla y limo, se utilizó el método de los bouyoucos el cual presenta mayor ventaja con respecto a el método de pipeta, se determinó mediante el uso del triángulo textural, de tres muestras tomadas dentro del área del reservorio mediante una calicata en la cual obtuvimos que el suelo predominante es Arcillo limoso, como se aprecia en la siguiente tabla:

Coordenadas	Estrato	Textura ( % )			Tipo de suelo
		Arena	Arcilla	Limo	
X= 564445.89 Y=960131.17	0 - 30 cm	11	92	43	Arcillo Limoso
	30 - 60 cm	13	91	45	Arcillo Limoso
	60 - 90 cm	13	88	37	Arcillo

Fuente: Elaboración propia

## Características Geomorfológicas

En la figura 12 se puede apreciar el área de influencia de la microcuenca garbanzal en la cual se han podido determinar las principales carteristas geomorfológicas importantes para la toma de decisiones en la presente investigación.



**Figura 12:** Microcuenca quebrada garbanzal.

En la tabla 9. se aprecia el valor de las principales características geomorfológicas de la microcuenca garbanzal; así tenemos el área total de la microcuenca es de 0.6547 Km<sup>2</sup> (65.47 ha); el perímetro de la microcuenca es de 3.17 Km; la longitud del cauce principal es de 0.64086 Km y el coeficiente de compacidad es 1.1, el mismo que se acerca a la unidad lo que reflejaría una cuenca casi de forma circular, lo que hidrológicamente representa una respuesta inmediata de una precipitación; en lo que se refiere a la transformación de la lluvia en agua de escorrentía.

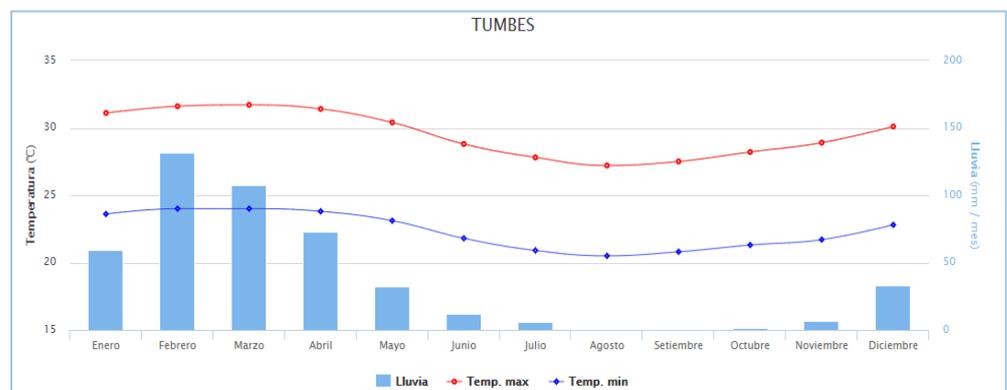
**Tabla 9.** Características geomorfológicas de la microcuenca garbanzal.

Fuente: Elaboración propia.

<b>Características Geomorfológicas de la Microcuenca Garbanzal</b>	
Área (km <sup>2</sup> )	0.6547
Perímetro(km)	3.1700
Longitud de quebrada (m)	640.86
Coeficiente de Compacidad (Kc)	1.1

## Características Meteorológicas

A. Temperatura: Los datos históricos según el SENAMHI para los últimos 30 años la temperatura ha variado tal como se observa en la tabla 10 y figura 13.



**Figura 13:** Variación de la temperatura en los últimos 30 años Región Tumbes. Fuente: SENAMHI

**Tabla 10.** Variación de la temperatura en los últimos 30 años Región Tumbes. Fuente: SENAMHI

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C
Enero	31.1	23.6
Febrero	31.6	24
Marzo	31.7	24
Abril	31.4	23.8
Mayo	30.4	23.1
Junio	28.8	21.8
Julio	27.8	20.9
Agosto	27.2	20.5
Setiembre	27.5	20.8
Octubre	28.2	21.3
Noviembre	28.9	21.7
Diciembre	30.1	22.8

B. Evaporación: Según Puño (2004), la evaporación característica registrada en la cuenca del río Puyango Tumbes, según la información disponible de dos modos, por medio de evaporímetro “Clase A” (Tanque de evaporación); y de evaporímetro “Piche” se tiene variaciones anuales desde 810 mm, en promedio 2.22 mm/día, en la parte baja de la cuenca, en base a los registros de la ex –estación Los Cedros ubicada a 5 msnm; hasta 1290mm en promedio 3.54mm/día, en la parte media de la cuenca, en base a los registros de la estación Célica ubicada a 2700 msnm.

## Características Hidrológicas

A. Precipitación: De acuerdo a la tabla 11 la variación de la precipitación total para los últimos 20 años en la estación campamento sede del Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes, ubicada a 10 km aproximadamente de la zona de estudio es tal como se muestra en la tabla indicada.

**Tabla 11.0.** Variación de la precipitación, estación Campamento Sede, región Tumbes.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1998	353.1	1022.8	339.0	326.3	141.9	0.9	2.5	0.0	0.0	3.3	0.0	4.6
1999	10.8	82.5	224.8	82.2	66.2	1.1	2.4	0.2	1.2	1.4	0.0	2.4
2000	10.3	36.4	64.2	66.4	26.0	1.8	0.2	1.5	0.7	0.0	0.0	3.7
2001	33.0	70.3	194.6	56.8	1.0	0.4	1.3	0.0	0.7	0.1	2.4	0.7
2002	1.6	211.9	292.8	99.5	0.1	0.8	0.0	0.8	1.3	2.3	0.5	5.7
2003	22.9	28.0	12.1	6.5	3.1	0.9	3.1	0.5	0.0	0.0	0.0	60.8
2004	9.4	23.6	31.0	59.2	5.7	0.7	0.8	0.0	0.9	3.3	0.0	1.8
2005	4.6	5.1	59.3	19.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	6.5
2006	33.6	267.2	56.6	8.4	1.1	0.0	0.9	1.4	0.0	1.2	1.5	10.6
2007	70.7	4.0	58.1	4.0	3.0	0.2	0.4	1.1	0.0	0.3	3.5	2.4
2008	128.7	270.5	105.9	25.5	0.6	2.0	0.2	0.0	0.8	0.1	0.1	0.0
2009	117.5	168.7	27.3	20.5	5.5	1.4	0.0	0.8	1.0	0.0	3.2	3.0
2010	17.8	187.4	180.8	94.9	1.2	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0	2.4	2.0
2011	21.8	43.9	3.8	38.5	13.3	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0
2012	80.1	155.0	95.1	74.8	3.0	0.0	0.4	0.0	0.0	2.9	1.9	1.5
2013	15.3	43.9	105.1	26.0	2.2	1.6	1.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0
2014	42.4	29.7	1.9	4.6	53.0	7.9	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	3.7
2015	11.4	38.0	330.6	25.4	39.4	1.3	0.0	0.0	0.3	6.5	1.2	3.0
2016	27.1	241.0	174.4	70.0	0.1	2.0	0.0	0.8	1.3	0.0	0.0	6.3
2017	143.9	90.9	337.4	58.6	35.0	0.2	0.0	0.3	0.9	2.9	0.1	0.7
2018	12.8	30.0	8.8	0.3	33.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	1.2	34.2

Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (Campamento Sede)

B. Velocidad de infiltración: La velocidad de infiltración se le define como el proceso a través del cual el riego o agua de lluvia, ingresa al suelo a través de la superficie del suelo, hacia sus capas inferiores, en forma vertical y horizontal. La velocidad de infiltración es variable de acuerdo a la textura de los suelos; en suelos arenosos es más rápida y en suelos arcillosos es más lenta.

En la presente investigación y usando el método de los cilindros infiltrómetros se ha obtenido un valor de 0.1 mm/hora en promedio de velocidad de infiltración el cual se encuentra dentro del rango según su textura la cual fue Arcillo limoso como se observa en la Tabla 12.

### Resultados de la prueba de infiltración

TIEMPO		LAMINA		VELOCIDAD	
PARCIAL	ACUMULADO	INFILTRADA	ACUMULADA	INFILTRACION INSTANTANEA	INFILTRACION HORARIA
(min)	(min)	(cm)	(cm)	(cm/hr)	(cm/h)
0	0	0	0		
1	1	0.09	0.09	5.4	5.4
5	5	0.06	0.15	0.72	1.8
5	10	0.05	0.2	0.6	1.2
10	20	0.05	0.25	0.3	0.75
10	30	0.05	0.3	0.3	0.6
15	45	0.05	0.35	0.2	0.467
15	60	0.05	0.4	0.2	0.400
30	90	0.05	0.45	0.1	0.300
30	120	0.02	0.47	0.04	0.235
60	180	0.01	0.48	0.01	0.1600

**Tabla 12.** Resultados de infiltración en centro de reservorio.

## Ajuste de datos por el método de los mínimos cuadrados

**Tabla 13.** Infiltración acumulada. Fuente: Elaboración propia

Fuente ACUMULADO	INSTANTANEA					
(min)	(cm/hr)	LOG t Xi	LOG tI Yi	Xi <sup>2</sup>	Yi <sup>2</sup>	Xi * Yi
1	5.4	0.0000	0.7324	0.0000	0.5364	0.0000
5	0.72	0.6990	-0.1427	0.4886	0.0204	-0.0997
10	0.6	1.0000	-0.2218	1.0000	0.0492	-0.2218
20	0.3	1.3010	-0.5229	1.6927	0.2734	-0.6803
30	0.3	1.4771	-0.5229	2.1819	0.2734	-0.7724
45	0.2	1.6532	-0.6990	2.7331	0.4886	-1.1555
60	0.2	1.7782	-0.6990	3.1618	0.4886	-1.2429
90	0.1	1.9542	-1.0000	3.8191	1.0000	-1.9542
120	0.04	2.0792	-1.3979	4.3230	1.9542	-2.9066
180	0.01	2.2553	-2.0000	5.0863	4.0000	-4.5105
	Σ	14.1972	-6.4738	24.4864	9.0841	-13.5440

Dado el modelo:

$$I_{cum} = AT^B$$

Promedio de  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$

$$\bar{X} = -0.6474 \quad \bar{Y} = 1.4197$$

Calculamos B, A y tiempo:

$$B = \frac{n(\sum X_i Y_i) - \sum X_i \sum Y_i}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$B = -1.00524058$$

$$A_0 = \frac{\sum Y_i - B\sum X_i}{n}$$

$$A_0 = 6.02$$

$$T = -600 B$$

$$T = 603.14435$$

Valor de infiltración acumulada en milímetros

$$I_{cum} = AT^B$$

$$I_{cum} = 6.02 (603.14435)^{-1.00524058}$$

$$I_{cum} = 0.10 \text{ mm}$$

**Tabla 14.** Valores de infiltración básica según tipos de suelos.

Fuente: (Instructivo, medición de la infiltración en el suelo)

Textura del suelo	Infiltración básica. Rango de Variación (mm/h)	Ib promedio (mm/h)
Arena	25 - 50	50
Franco-arenoso	13 - 75	25
Franco	7,5 - 20	12,5
Franco-limoso	2 - 15	7,5
Arcillo- limoso	0,2 - 5	2,6
Arcilla	0,1 - 1	0,5

## DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

En este diseño se plantea la construcción del reservorio o del pequeño embalse para cosechar el agua de lluvia así como el planteamiento del diseño de zanjas de infiltración en las laderas de la microcuenca.

### A. Diseño del embalse y presa

Para el diseño del embalse y presa se ha tenido en cuenta el tipo de suelo predominante en el fondo del embalse (arcillo limoso), Angulo de fricción del suelo, taludes, etc. Tal como se muestra en los cálculos siguientes:

**Tabla 15.** Movimiento de tierras. Fuente: Datos obtenidos por el programa civilCAD

Secciones levantadas en campo	Elevaciones		Áreas (m <sup>2</sup> )	Semi-Distancia (m)	Relleno (m <sup>3</sup> )
	Terreno Natural	Subrasante			
0+000.000	50.095	50.000	0.00		
0+010.000	47.623	50.000	22.08	5.00	110.42
0+020.000	45.122	50.000	70.13	5.00	461.04
0+030.000	42.567	50.000	137.23	5.00	1036.76
0+040.000	40.028	50.000	223.01	5.00	1801.19
0+050.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2240.06
0+060.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2250.00
0+070.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2250.00
0+080.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2250.00
0+090.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2250.00
0+100.000	40.000	50.000	225.00	5.00	2250.00
0+110.000	40.000	50.000	207.92	5.00	2164.60
0+120.000	41.017	50.000	170.47	5.00	1891.94
0+130.000	44.416	50.000	122.98	5.00	1467.26
0+140.000	45.000	50.000	101.64	5.00	1123.11
0+150.000	45.000	50.000	80.76	5.00	911.98
0+160.000	47.352	50.000	29.00	5.00	548.77
0+170.000	49.885	50.000	1.38	5.00	151.89
0+180.000	50.000	50.000	0.00	5.00	6.90
				<b>Total</b>	<b>25,165.93</b>

Los siguientes datos fueron obtenidos mediante una simulación en el software CivilCAD 2016. Donde se generaron las secciones y posteriormente se obtuvo un perfil del terreno (ver anexos: Planos)

## B. Diseño de dique

Con el tirante hidráulico máximo (ver en anexos: Plano de sección típica) se procedió a realizar el cálculo estructural del dique teniendo en cuenta el tipo de suelo (arcillo limoso) con su Angulo de fricción interna según la tabla siguiente:

**Tabla 16.** Ángulos de fricción interna según el tipo de suelo.

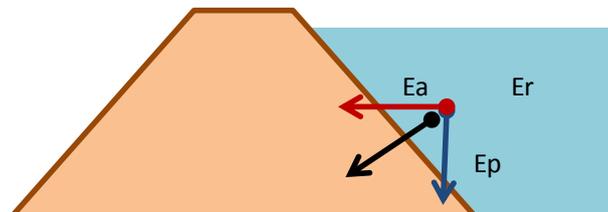
Tipo de terreno	$\phi^\circ$
Arcilla suave	0° -15°
Arcilla media	15°- 30°
Limo seco y suelto	27°- 30°
Limo denso	30°- 35°
Arena suelta y grava	30°- 40°
Arena densa y grava	25°- 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	33°- 35°
Arena densa, seca y bien graduada	42°- 46°

Fuente: Basic Soils Engineering – B. K. Hough

## Predimensión y cálculo del dique

Se consideró el cálculo tomando en cuenta un suelo arcillo limoso, dado que es el más abundante en la quebrada garbanzal.

Como capacidad portante del suelo sobre el cual estará el dique, tenemos que es el valor de 1.5 kg/cm<sup>2</sup> obtenido como referencia de la siguiente tabla la cual nos indica su capacidad portante según el tipo de suelo para el cual consideramos arcilla muy compactada.



$$Q_c = 1.5 \text{ kg/cm}^2$$

**Tabla 17.** Datos referenciales sobre capacidad de carga.

<b>Datos referenciales sobre capacidad portante</b>	<b>Kg /cm<sup>2</sup></b>
Roca medio dura y sana	20
Roca blanda o fisurada	7.0
Conglomerado compactado bien graduado	4.0
Arena gruesa mezclada con grava	2.0
Arena gruesa y fina mezcladas con limo o arcilla	1.5
Arcilla muy compactada	1.5
Arcilla medianamente compactada	1.0
Arcilla mezclada con limo y sin compactar	0.5

Fuente: Diseño sísmico de una edificación de albañilería, Boyer L.F.

#### **Geometría de sección**

Ancho Corona:	5.00 m
Altura ( h ):	10.00 m
Ángulo Fricción:	<b>30.0 °</b>
Talud Izq. (x-y):	1.750      1.00
Talud Der. (x-y):	1.750      1.00
Ancho Base(B):	40.00 m
Centroide: (x, y):	8.68 m      2.35 m

#### **Cálculo Hidrostático**

Long. Mojada (L)	20.16 m
Longitud Presa ( l )	1.00 m
Área Mojada (A <sub>m</sub> = L x l)	20.16 m <sup>2</sup>
Peso específico Agua ( γ )	1.01 Tn/m <sup>3</sup>

Presión promedio = $(\gamma)(h/2)$	5.05 Tn
$\sum \text{Fuerzas}_{\text{AGUA}} = \gamma (h/2) A_m =$	101.79 Tn
$M_{\text{VOLC.}} = \sum F (h/3) =$	339.29 Tn.m
<hr/>	
Área Sección = $(A_s)$	225.00 m <sup>2</sup>
Volumen Sección = $(V_s)$	225.00 m <sup>3</sup>
Peso específico Material $(\gamma_m)$	1.45 Tn/m <sup>3</sup>
$\sum \text{Fuerzas}_v = \gamma_m \cdot V_s$	326.25 Tn
<hr/>	
$M_R = \sum F_v \cdot Y =$	766.69 Tn.m
<hr/>	

### Excentricidad de empuje

$$e = \frac{\sum M_R - \sum M_V}{\sum F_V} = \frac{\Delta M}{\sum F_V} \quad 0.56$$

### Verificación de volcamiento

$$F_{\text{vol}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} \geq 2 \quad 2.26$$

### Verificación por deslizamiento

$$F_d = \frac{\mu \sum F_V}{\sum F_H} \geq 1.5 \quad 3.21$$

### Calculo de diámetro de roca para revestimiento de dique.

Factor (f): En afirmado

	Angulo	Seno
Ang. Talud ( $\alpha$ ) =	30.0 °	0.5000
Ang. Fricción ( $\emptyset$ ) =	30.0 °	0.5000

$$\text{factor ( f )} = \{(1 - \text{sen}^2 \alpha) / (\text{sen}^2 \emptyset)\}^{0.5}$$

$$f = 1.7321$$

### Densidad Relativa $\Delta$ :

$$\text{Densidad Roca } \rho_r = 2420.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad agua } \rho = 1000.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta = (\rho_r - \rho) / \rho =$$

$\Delta$ =	1.42 kg/m <sup>3</sup>
Max. Velocidad Flujo =	3.74 m/s
Factor Turbulencia (b) =	1.40
gravedad (g) =	9.80 m/s <sup>2</sup>

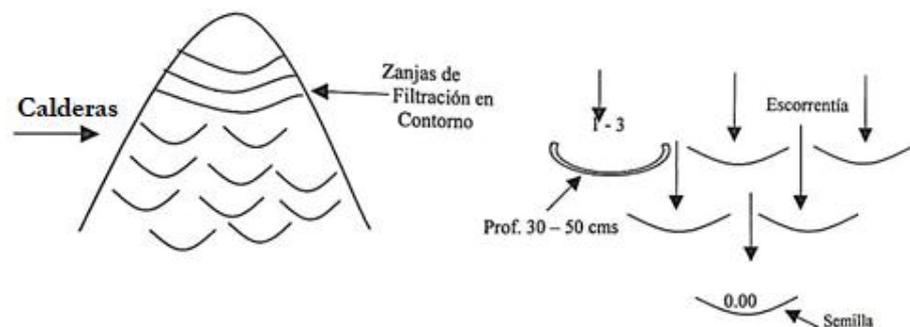
**Diámetro Roca (D):**

$$D_{\phi} = (b \cdot V^2) / (\Delta \cdot f^2 \cdot g)$$

$$D_{\phi} = 0.406 \text{ m}$$

### Diseño del sistema no estructural

Los sistemas no estructurales estarán conformados por el planteamiento de un proyecto de forestación y reforestación de la microcuenca garbanzal con plantas oriundas de la zona como por ejemplo, algarrobo y charán. Así mismo se plantea la construcción de zanjas de infiltración tipo “Calderas”. Las calderas son pequeñas zanjas en media luna de 1 a 3 metros de diámetro y con una profundidad de 30 a 50 centímetros, que se construyen en las laderas de los cerros, antes del periodo lluvioso, meses antes del periodo lluvioso se riega semillas de pastos, arboles, etc. En dichas caldera y con pequeñas lluvias puede lograrse su germinación y posible crecimiento (Puño, N. 2004)



**Figura N°14:** Se pueden observar dichas infraestructuras Zanjas de infiltración tipo “calderas”. Fuente: Puño, N 2004

### 5.1.3. Determinación de los usos posibles de agua pluvial almacenada

El agua cosechada de la lluvia y almacenada en el pequeño embalse a construir en la micro cuenca Garbanzal cuyas características se pueden observar en la tabla 18.

**Tabla 18.** *Características del embalse de cosecha de agua en microcuenca Garbanzal.*

<b>Características de Área de Embalse</b>	
AREA (m <sup>2</sup> )	165, 606.53
VOLUMEN COTA 40-47.5 (m <sup>3</sup> )	863, 941.94
PERIMETRO (m)	3, 416.03

*Fuente: Elaboración propia mediante el software QGIS*

Como se puede observar, el pequeño embalse tendría una capacidad de aproximadamente 864 000 m<sup>3</sup> de agua, suficientes para almacenar en un año normal de lluvia los 350 602 m<sup>3</sup> de agua por año. En años extraordinarios (Fenómenos del Niño), este pequeño embalse deberá ser regulado mediante la construcción de una presa de retención con sus respectivos aliviaderos y compuertas de fondo.

El uso que es posible dar a esta agua almacenada, es en primer lugar para fines domésticos en tanto esta sufra un tratamiento para las condiciones de transformarla en agua potable; así mismo su uso puede ser para fines de abrevadero de ganado, irrigación de pequeñas áreas agrícolas y la implementación de sistemas de forestación y reforestación de la propia microcuenca.

#### **Estimación de las pérdidas de volumen de agua en el embalse.**

Las pérdidas de agua que suceden en un embalse son: Perdidas por evaporación directa y pérdidas por infiltración.

En la presente investigación considerando una área de embalse 165 606 m<sup>2</sup> y una evaporación promedio de 2.22 mm/día se estima que en

año habría una pérdida por evaporación directa de 134,190.54 m<sup>3</sup> por año; así mismo si se considera que la infiltración promedio es de 0.10 mm/hora, se estima que en el año se estarían perdiendo alrededor de 145,070.86 m<sup>3</sup> por lo tanto en el año se perderían del embalse 279,261.4 m<sup>3</sup> de agua por año, en lo que se estimaría por tanto que existiría un volumen de agua útil de 71,341.16 m<sup>3</sup> por año normal de lluvias. Para años excepcionales (fenómeno del niño), los volúmenes útiles pueden subir en función de que existiría un mayor almacenamiento de agua.

**5.1.4. Realizar un estudio económico del proyecto y evaluar el costo económico Vs el agua que puede ser cosechada.**

**Costos**

En la presente investigación se han evaluado los costos que demandaría la construcción de las obras estructurales como la presa y el reservorio y las zanjas de infiltración y la forestación.

**Costo de Construcción de la presa, Reservorio, Zanja de Infiltración y forestación**

El costo de inversión para la presente investigación y para los tres elementos más importantes como: presa, reservorio, zanja de infiltración, y la forestación se pueden observar en la Tabla 16, costo total que asciende al valor de **S/. 4'701,843.62 (Cuatro millones setecientos un mil ochocientos cuarenta y tres y 62/100 soles)**. Ver anexos: Presupuesto.

**Costo de inversión Por m<sup>3</sup>de Agua Cosechada**

Considerando que el volumen de agua cosechada en el año es de 71,341.16 m<sup>3</sup>/año; y la inversión es de S/. 4'701,843.62 por lo tanto se

puede estimar que el costo de inversión inicial es de S/. 65.91 m<sup>3</sup> de agua cosechada; previniendo que dichos costos en el futuro disminuirán al considerar solo costo de operación y mantenimiento.

## **5.2. DISCUSIÓN**

### **5.2.1. Evaluación de los volúmenes de cosecha agua, mediante un estudio hidrológico de la microcuenca Garbanzal - Tumbes.**

Para la presente investigación se usó el método Iszkowsky para estimar el caudal de escorrentía para lo cual se usó la altura de lluvia anual caída en la estación campamento sede PEBPT que fue en un promedio de 93 mm; el valor obtenido para el caudal fue de 0,0341 m<sup>3</sup>/seg. Asimismo se estimó el caudal por el método de Creager obteniéndose un caudal máximo 1,0606 m<sup>3</sup>/seg.

Considerando que el 90% de la lluvia se presente entre los meses de enero, febrero, marzo y abril; se ha tomado este periodo de tiempo en el cual se permite la acumulación de agua de lluvia en la microcuenca. Por seguridad se ha usado el valor obtenido del caudal por el método de Iszkowsky y considerando 119 de días en el año de probable presencia de lluvias se estima un volumen total de 350 602 m<sup>3</sup>/año. Si consideramos las pérdidas por evaporación e infiltración se tiene que el volumen de pérdidas en el año sería de aproximadamente 229,261.40 m<sup>3</sup> de agua; por lo tanto existiría un volumen de agua útil de 71,341.16 m<sup>3</sup> en un año normal de lluvias; valor este que puede ser superado en un fenómeno el niño o disminuido radicalmente en un periodo de sequía.

### **5.2.2. Diseño un sistema de captación y almacenamiento de aguas pluviales en el sector de Garbanzal- Tumbes.**

La micro cuenca Garbanzal se caracteriza geomorfológicamente porque tiene una área total de 0.6547 km<sup>2</sup> un perímetro de 3.17 km una longitud de cauce principal de 0.64086 km y un coeficiente de compacidad 1.1. Lo que se podría indicar que se trata de una microcuenca pequeña conformada por un solo cauce. La temperatura máxima en esta cuenca es variable durante los doce (12) meses del año; siendo los meses de enero a abril los meses de máximas temperaturas y con respecto a la temperatura mínima destacan los meses de julio a octubre como meses en los cuales se presenta la mínima temperatura. Con respecto a la evaporación se puede indicar que en la microcuenca existe un promedio diarios de 2.22 mm.

La precipitación en la microcuenca y usando la información de la estación campamento sede del PEBPT se estima que la precipitación se concentra en un 90% entre los meses de enero a abril. La velocidad de infiltración en el suelo se obtuvo un valor promedio de 0.10 mm/hora. Que corresponda una característica de suelos arcillosos.

Dentro de las obras del sistema estructural destaca la construcción de una pequeño reservorio para una capacidad total de 864 000 m<sup>3</sup> de agua así como la construcción de zanjas de infiltración tipo media luna o calderas.

Como en todo reservorio y con la finalidad de hacer los balances hídricos que corresponda así como la planificación del recurso hídrico se estima que el reservorio a construir estaría perdiendo alrededor de 229,261.40 m<sup>3</sup> de agua/año; existiendo un volumen de agua útil de 71,341.16 m<sup>3</sup>/año normal de lluvias.

Con respecto a las obras no estructurales se está planteando la forestación y reforestación de la microcuenca Garbanzal con plantas oriundas de la zona destacando el algarrobo, charán, palo santo y guayacán. Asimismo se plantea la construcción de zanjas de infiltración en media luna o llamada también zanjas tipo “calderas” las cuales tendrán una longitud de 1 a 3 m de diámetro y una profundidad entre 30 a 50cm en la cuales durante los periodos no lluviosos se regaran semillas de pastos y árboles para que en el periodo lluvioso estas puedan lograr su germinación y crecimiento.

### **5.2.3. Determinación de los usos de agua pluvial almacenada**

El agua cosechada podrá tener usos de tipo doméstico y de tipo productivo. Para uso doméstico y mediante la utilización de adecuados sistemas de potabilización de agua podrá ser usada por los pobladores del caserío de Garbanzal. El uso productivo que se le puede dar a esta agua consiste en el riego de pequeñas áreas agrícolas así como para la implementación de sistemas de forestación y reforestación de la microcuenca.

Realizar un estudio económico del proyecto y evaluar el costo económico Vs el agua que puede ser cosechada, y establecer la viabilidad del proyecto.

### **5.2.4. Estudio Económico del proyecto y evaluación del costo económico vs. el agua que puede ser cosechada y establecer la viabilidad del proyecto.**

El costo total inicial de inversión del proyecto asciende a un valor estimado de S/. **4'701,843.62 (Cuatro millones setecientos un mil ochocientos cuarenta y tres y 62/100 soles)** para el almacenamiento de 71,341.16 m<sup>3</sup>/año lo que resulta a un costo inicial de inversión S/. 65.91/m<sup>3</sup> de agua cosechada.

## VI. CONCLUSIONES

1. El caudal estimado que puede producir la microcuenca de quebrada Garbanzal y usando el método de Iszkowsky para cuencas secas es de  $0.0341 \text{ m}^3/\text{seg}$ ; y considerando que el 90% de lluvia se produce entre enero y abril (119 días) se estima un volumen total de  $350\,602 \text{ m}^3/\text{año}$ . Y considerando las pérdidas por evaporación directa e infiltración se estima un volumen de agua útil de  $71,341.16 \text{ m}^3/\text{año}$  normal de lluvias.
2. Se han determinado un diseño de obras estructurales consistentes en una pequeña presa de tierra, un embalse para una capacidad total de  $863\,941.94 \text{ m}^3$ ; así como la construcción de zanjas de infiltración tipo media luna o calderas. Y dentro de las obras no estructurales se está considerando la forestación de 18 has que equivalen el 30% del área total de la cuenca con especies forestales de la zona como es el algarrobo y el charán a una densidad de mil árboles por hectárea.
3. El agua útil embalsada podría ser usada en primer lugar de acuerdo a la Ley de Recursos Hídricos N°29338 para usos domésticos de la población rural del caserío de Garbanzal; siguiéndole importancia su uso para fines agrícolas y pecuarios.
4. El costo total inicial aproximado del proyecto es de S/ 4'701,843.62 (Cuatro millones setecientos un mil ochocientos cuarenta y tres y 62/100 soles) que considerando un almacenamiento total de  $71,341.16 \text{ m}^3/\text{año}$  se obtiene un costo de inversión inicial de S/ 65.91  $\text{m}^3$  de agua cosechada

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que con la finalidad de estimar con más precisión los caudales y volúmenes en cuencas secas instalar estaciones meteorológicas e hidrológicas en el interior de las áreas de estas cuencas con la finalidad de obtener datos calculados a través de los modelos estadísticos y datos medidos a través de pequeñas estaciones hidrométricas.
2. Con la finalidad de disminuir la velocidad de infiltración del vaso del embalse; se deben realizar actividades de compactación en el fondo del embalse, y/o impermeabilización a base de geomembranas sintéticas. Asimismo es posible considerar otros árboles o especies maderables de la zona de menor periodo vegetativo como por ejemplo los alisos, uña de gato, etc. Los plantines deberán ser colocados en la zanja de infiltración o calderas al inicio del periodo lluvioso (diciembre-enero).
3. Si bien es cierto el uso prioritario del agua es para fines domésticos se recomienda niveles adecuados de potabilización considerando que las aguas estancadas pueden fácilmente contaminarse.
4. Con la finalidad de tener análisis de costos y beneficios más adecuados y poder decidir sobre la viabilidad o factibilidad de ejecución de un proyecto de este tipo realizar una proyección a 5 a 10 años de la vida del proyecto estimando los costos fijos y variables que se generen en la vida útil del proyecto así como los ingresos que se obtengan, dentro de la vida útil del proyecto y respetando que la relación beneficio costo que asegura la viabilidad del proyecto debe ser  $>1$ .

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ARIAS, E (1999).** *“Mitos y Errores en la Elaboración de Tesis y Proyectos de Investigación”*. Caracas: Episteme.

**ALLEN BATEMAN (2007):** Hidrología Básica y Aplicada.

**APARICIO MIJARES, FRANCISCO (1992):** Fundamentos de Hidrología de Superficie.

**Ballén, Galarza y Ortiz (2006):** Historia de Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia, Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua.

**Cajina, M., Faustino, J. (2007).** [Informe Técnico] *“Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental”*. Costa Rica.

**Caballero, T. Instituto Politécnico Nacional (México, 2006):** Captación de Agua de Lluvia y Almacenamiento en Tanques de Ferrocemento.

**Canales, L. (2018).** Construcción de Diques para la Cosecha de Agua en Laguna Periglaciares. CARE Perú, Primera Edición. Lima – Perú.

**Carrasco, S. (2013).** Metodología de la investigación científica, pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Editorial San Marcos EIRL, Editor sexta reimpresión. Lima – Perú.

**Coello, X. (2006).** Characterization of the Zarumilla Transboundary aquifer between Peru and Ecuador. UNESCO. IHE. 169P.

**Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC) (2010):** Glosario de Abreviaturas y Definiciones Utilizadas en los Procedimientos Técnicos del COES-SINAC.

**Ernesto R. F. (1999).** Evaluación Social de Proyectos, 12, reimpresa, Perú.

**FAO (2013).** [Publicación] “Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe”. Santiago, Chile.

**FONCODES (2015).** Manual técnico, siembra y cosecha de agua , proyecto: “HakuWiñay / NoaJayatai”

**Giraldo, F. (2016)** “Diseño y Construcción de un Sistema Recolector de Aguas Lluvias para el Módulo Ecosostenible de la Fundación Kyrios”.

**INGEMMET. (2006).** Estudio Geoambiental de la Cuenca Puyango –Tumbes. Geodinamica e Ingenieria Geologica. Boleta N°32.

**José Andrés Méndez Cubillo (2016).** En su investigación: “*Análisis de la viabilidad de un sistema de captura de agua y su almacenamiento para uso en el beneficiado húmedo en la cooperativa de caficultores de pilangostar.I., del cantón de hojancha, Guanacaste*”

**Lahud, J. (2016).** “*La Siembra y Cosecha de Agua. Fricciones entre el Conocimiento Local Y la Tecnocracia Estatal Frente al Cambio Climático. El Caso de la Comunidad Campesina Quispillaccta, Ayacucho*”, Pontificia Universidad Católica del Perú.

**León, L. (2016).** “*Aprovechamiento Sostenible de Recursos Hidricos Pluviales en Zonas Residenciales*”, Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Llamas, JOSÉ MARÍA (1993):** Hidrología General.

**Linslay, Kohler y Paulus(1977):** Hidrología para Ingenieros.

**Molina, M., Gutiérrez, L. &Salazar, J. (2011).** “*Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible*”. Bogotá, Colombia.

**Morles, V., (1994).** “*Planeamiento y análisis de investigaciones*” (8a ed.).Caracas: El Dorado.

**Mvotma(Ed) (2011).**“*Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas Volumen 1: Diseño Hidrológico / Hidráulico*”. Montevideo, Uruguay.

**Monsalve, Germán (1999):** Hidrología en la Ingeniería.

**Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales:**“Guía práctica para cosechar el agua de lluvia” ,El Salvador”.

**Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe:** Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia, Experiencias en América Latina; 2000.

**Pinto, N.L.; Holtz, A.C.T.; Martins, J.A.**Hidrologia de Superficie. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 179 p.

**Puño, N. (2004).** Análisis situacional de la cuenca del rio Tumbes .Tesis para grado de magister.Universidad nacional agraria la molina

**Proyecto Minka Suma Kawsay(2015):** “Guía práctica para cosechar el agua de lluvia”, Ecuador.

**Sánchez, F. J. (2017).** Hidrología Superficial y Subterránea. CreatespaceIndependent Pub., 414 pp.

**Segerer, C., VILLODAS, R. (2006).** *“Hidrología I”*. Cuyo, Argentina.

**Silva, O. (2017).** *“Análisis del Índice de Vulnerabilidad a Sequía e Identificación de sitios para Cosecha de Agua en la Subcuenca media del Río Viejo, Nicaragua”*. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.

**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP (2000):** Rainwater Harvesting and Utilisation, International Environmental Technology Centre.

**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP AND STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE (2009):** Rainwater Harvesting: a lifeline for human wellbeing.

**Vásquez, A., Vásquez, I. & Vasquez, C. (2014).** *“Cosecha del Agua de Lluvia y su Impacto en el Proceso de Desertificación y Cambio Climático”*. Lima, Perú.

**Villon, M. (2014).** *“Hec-Ras”*. Cartago, Costa Rica.

**Villon, M. (2002).** *“Hidrología”*. Cartago, Costa Rica.

**Vásquez, A. et al. (2017).** Cosecha del agua de Lluvia, y captación de nieblas en zonas áridas y semiáridas y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. Primera edición-Universidad Agraria La Molina-Lima – Perú.

**Valer, F. & Perez, J.** *“Manual Técnico N° 1: Las Qochas Rústicas, una alternativa en los andes para la siembra y cosecha de agua en un contexto de cambio climático”*. PACC Perú. Lima – Perú.

## LINKOGRAFIA

- 1. MINAGRI, LA COSECHA Y LA SIEMBRA DEL AGUA, EXPERIENCIAS EXITOSAS: CASOS.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de [http://www.larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA138/Casos\\_Cosecha\\_Siembra\\_agua.pdf](http://www.larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA138/Casos_Cosecha_Siembra_agua.pdf)
- 2. LA PREOCUPANTE Y DESIGUAL SITUACIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <https://www.servindi.org/actualidad/84511>
- 3. LA SITUACIÓN DEL AGUA EN EL PERÚ.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/la-situacion-del-agua-en-el-peru/>
- 4. EL PROBLEMA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL PERÚ.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <http://www.enfoquederecho.com/2011/09/19/el-problema-de-la-disponibilidad-de-agua-en-el-peru/>
- 5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS PARA EL MÓDULO ECOSOSTENIBLE DE LA FUNDACIÓN KYRIOS.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/6604>
- 6. RUMBO A UN APOORTE Y REFLEXIONES DESDE LA PRÁCTICA PROGRAMA NACIONAL DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <http://www.paccperu.org.pe/publicaciones/pdf/258.pdf>

- 7. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA OPCIONES TÉCNICAS PARA LA AGRICULTURA FAMILIAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
  
- 8. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIAS.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_captaci%C3%B3n\\_de\\_agua\\_de\\_lluvias](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_captaci%C3%B3n_de_agua_de_lluvias)
  
- 9. EL CICLO HIDROLÓGICO.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <https://es.scribd.com/document/81945211/Notas-de-clase-Hidrologia-Ing-Javier-Sanchez-San-Roman>
  
- 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion-cientifica/>
  
- 11. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** [En línea]. Recuperado el 13 de Mayo de 2018 de <https://es.scribd.com/document/81945211/Notas-de-clase-Hidrologia-Ing-Javier-Sanchez-San-Roman>
  
- 12. FAO (2018).** "23 países experimentan estrés hídrico por encima del 70%" disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/facts-and-figures/estres-hidrico-es-superior-al-60-asia-occidental-y-central-y-africa>
  
- 13. EDU (2018).** Informe punto edu sobre "estrés hídrico en el Perú" disponible en: <https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticias/informe-puntoedu-sobre-estres-hidrico-en-el-peru/>
  
- 14. SPERLING (2019).** Planeamiento, Manejo y Gestión de Cuencas [https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/83/2/Unidade\\_1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/83/2/Unidade_1.pdf)

- 15. GEOMORFOLOGIA DE CUENCAS**[En línea]. Recuperado el 17 de Octubre de 2019 de  
[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\\_Geomorfologia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf)
- 16. GEOMORFOLOGIA DE CUENCAS**[En línea]. Recuperado el 18 de Octubre de 2019 de  
<https://andina.pe/agencia/noticia-sepa-es-siembra-y-cosecha-agua-y-sus-beneficios-para-agro-peruano-618478.aspx>
- 17. GERARDA DÍAZ CORDERO:** El cambio climático  
en:<https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- 18. NACIONES UNIDAS PARA LA REDUCCION DEL RIESGO DE DESASTRES:**Reducción del Riesgo en:<https://www.eird.org/americas/we/que-es-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres.html>
- 19. MINAGRI:** Plan Nacional de Reforestación  
en:<https://www.minagri.gob.pe/portal/49-sector-agrario/recurso-forestal/355-reforestacion>

## IX. ANEXOS

### 9.1 PANEL FOTOGRÁFICO



*Fotografía 1 y 02: Recorrido de zona proyecto*





**Fotografía 3:** Hitos hallados, que delimitan el terreno de la UNTumbes – Garbanzal



**Fotografía 4:**Proyectandonos donde será el embalse



**Fotografía 5:** Terreno en temporada de ausencia de lluvias



**Fotografía 6:** Prueba de infiltración con infiltrómetro de doble anillo

## 9.2 PRESUPUESTO

### **9.3 PLANOS**

- Plano N°01 : Ubicación
- Plano N°02 : Poligonal de la zona de proyecto
- Plano N°03 : Diseño del dique
- Plano N°04 : Topografía del terreno – perfil longitudinal
- Plano N°05 : Topografía del terreno – secciones transversales

## INFORME DE ORIGINALIDAD TURNITÍN