

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE  
LLUVIA MEDIANTE COBERTURAS EN LAS VIVIENDAS  
RURALES, CON FINES DE CONSUMO DOMESTICO EN LA  
COMUNIDAD PUCAJRANI TIRACCOLLO – ILAVE.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**WILBER TICONA ESCOBAR**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA  
MEDIANTE COBERTURAS EN LAS VIVIENDAS RURALES, CON FINES DE  
CONSUMO DOMESTICO EN LA COMUNIDAD PUCAJRANI TIRACCOLLO -  
ILAVE.**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**WILBER TICONA ESCOBAR**

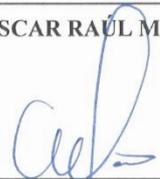


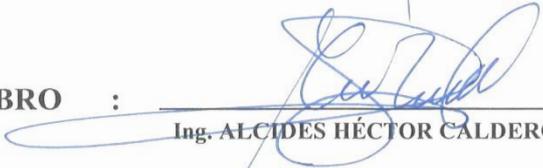
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE** :   
M.Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

**PRIMER MIEMBRO** :   
M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

**SEGUNDO MIEMBRO** :   
Ing. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO

**DIRECTOR** :   
Dr. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

ÁREA: Ingeniería y Tecnología  
TEMA: Saneamiento Rural  
LÍNEA: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN 20 DE DICIEMBRE DEL 2017

## DEDICATORIA

Con Mucho cariño y Eterna Gritud A  
mis Queridos Padres, quienes con su  
sacrificada e invaluable labor hicieron  
posible que alcance la concretización de  
mi deseo de ser profesional.

Con mucho Amor a mi esposa, quien con  
mucha comprensión y paciencia supo  
apoyarme en cada momento, siendo artífice  
de la culminación de la presente  
Investigación.

Con inmensa gratitud y agradecimiento a  
mis hermanos y hermanas por su  
incondicional e incomparable apoyo,  
quienes supieron alentarme en cada  
momento.

**Wilber**

## AGRADECIMIENTO

- A nuestra Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano – Puno, a la escuela profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería Agrícola, que me dio la oportunidad de formarme como profesional.
- Quiero dar las gracias a Dios y Pacha mama santa tierra, por todas y cada una de las personas que puso en mi camino, que hicieron posible la realización de este trabajo.
- De la misma forma, agradecer a mi director de tesis Ing. Edilberto VELARDE COAQUIRA, que con su empeño y dedicación compartió sus conocimientos y la labor de dirección desempeñada en este trabajo de investigación.
- Al Ing. HERMES, PERALTA SURCO, por su asesoramiento durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A todos los Docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola quienes impartieron sus conocimientos durante toda mi formación profesional.
- A mis queridos padre Pedro TICONA INCACUTIPA y madre Petrona ESCOBAR DE TICONA, por brindarme su apoyo durante esta andadura que han estado ahí para lo que necesite. Y mi querida esposa Gladis NINA AROCUTIPA Y mi hijo Darwin Evo TICONA NINA hermano Edwin TICONA ESCOBAR Y SU ESPOSA.
- Al Abogado Juan Carlos Aquino Condori por su apoyo y la empresa Expreso Turismo San Martin Nobleza y al gerente Oscar Vega Checalla y su esposa.

**Wilber**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.3.1. Hipótesis general.....	15
1.3.2. Hipótesis específico .....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	16
1.5. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	17
1.5.1. A nivel global.....	17
1.5.2. A nivel nacional .....	20
1.5.3. A nivel local.....	21
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos .....	22
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	23
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	23
2.1. PRECIPITACIÓN .....	23
2.1.1. Definición de precipitación.....	23
2.1.2. Origen de precipitaciones .....	23
2.1.3. Tipos de precipitación.....	24
2.1.4. Medición de precipitaciones .....	25
2.1.5. Formas de precipitación.....	26
2.2. IMPORTANCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN LA INGENIERÍA .....	27
2.3. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.....	28
2.4. PRINCIPALES SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	28
2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	29
2.6. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	32
2.7. COMPONENTES DEL SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	35
2.8. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA .....	44
2.9. MODELO DE CÁLCULOS.....	44
2.9.1. De manda de agua en el MES “i” (Di).....	45
2.9.2. Oferta de agua en el mes “i” (Ai) .....	45
2.9.3. Demanda acumulada (Dai) .....	46
2.9.4. Oferta acumulada (Aai) .....	46
2.9.5. Volumen de almacenamiento (Vi).....	46

2.9.6.	Interceptor de primeras aguas .....	47
2.9.7.	Potencial de ahorro de agua potable .....	47
2.10.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SCALL. ....	48
2.10.1.	Operación.....	48
2.10.2.	Mantenimiento.....	48
2.11.	DE LA CAPACITACIÓN A LOS USUARIOS BENEFICIADOS. ....	50
2.12.	CALIDAD DEL AGUA .....	50
2.13.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA.....	51
2.14.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA.....	52
2.15.	ASPECTOS DE IMPACTO AMBIENTAL .....	54
2.16.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	55
2.16.1.	TÉRMINOS HIDRÁULICOS .....	55
III.	MATERIALES Y METODOS .....	58
3.1.	ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	58
3.1.1.	Ubicación y extensión del área de estudio.....	58
3.2.	DIAGNÓSTICO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO EN LA COMUNIDAD DE PUCAJRANI TIRACCOLLO.....	61
3.2.1.	Servicio de saneamiento. ....	61
3.2.2.	Aspectos socioeconómicos de la población.....	62
3.2.3.	Social e institucional.....	66
3.2.4.	Los recursos naturales.....	67
3.3.	METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA. ....	68
3.3.1.	Materiales y equipos .....	68
3.3.2.	Información básica.....	69
3.4.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LAS COBERTURAS DE TECHOS DE LAS VIVIENDAS RURALES.....	70
3.5.	METODOLOGÍA DEL ASPECTO TÉCNICO.....	70
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	85
4.1.	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA MEDIANTE COBERTURAS. 85	85
4.1.1.	Resultados de la evaluación de los techos de las viviendas.....	85
4.1.2.	Resultados del diagnostico técnico de agua potable.....	87
4.1.3.	Resultados del sistema de captación de agua de lluvia.....	90
4.1.4.	Aspectos técnicos del sistema de captación del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel familiar.....	91
4.2.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN. ....	103
V.	CONCLUSIONES.....	107
VI.	RECOMENDACIONES .....	108
VII.	BIBLIOGRÁFICA .....	109

**ÍNDICE DE TABLAS**

FIGURA N° 1: Sistema de captación de agua de lluvia en techos – 2017. ....	30
FIGURA N° 2: Sistema de captación de agua de lluvia en techos – 2017. ....	36
FIGURA N° 3: Canaletas de recolección. ....	40
FIGURA N° 4: Dispositivo interceptor de las primeras aguas. ....	42
FIGURA N° 5: Tanque de Almacenamiento. ....	43
FIGURA N° 6: Diagrama de bombeo de agua almacenada – 2017. ....	56
FIGURA N° 7: Macro Localización del Proyecto. ....	58
FIGURA N° 8: Micro Localización del Proyecto. ....	59
FIGURA N° 9: Evaluando el techo de una vivienda en la comunidad de Pucajrani - Tiracollo 2017. ....	85
FIGURA N° 10: Vivienda sin canaleta para la colección del agua de lluvia – 2017. ....	86
FIGURA N° 11: Medición del área y la profundidad del pozo rustico – 2017. ....	87
FIGURA N° 12: Vivienda con techo de calamina galvanizada - 2017. ....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 1: Requisitos físico químico para el agua potable. ....	54
Tabla 2: Vías de acceso a la comunidad de Pucajrani Tiracollo.....	61
Tabla 3: Abastecimiento de agua potable en el área de estudio. ....	61
Tabla 4: Aspectos de las viviendas en el área de estudio. ....	62
Tabla 5: Población total, por área urbana y rural, según sexo del departamento y provincia.....	63
Tabla 6: Población objetivo del proyecto .....	63
Tabla 7: Evolución de la población económicamente activa.....	64
Tabla 8: Población económicamente activa por grupos de edad del distrito de Ilave, según ramas de actividad.....	64
Tabla 9: Evolución de la población económicamente activa.....	65
Tabla 10: Población de 3 años a mas, distrito de Ilave (rural) según sexo y condición alfabetismo. ....	66
Tabla 11: Capacidad de uso del recurso suelo en el distrito de Ilave. ....	67
Tabla 12: Producción agrícola en el distrito de Ilave en t.m. y has (2002-2005) .....	68
Tabla 13: Estación meteorológica.....	69
Tabla 14: Resumen de parámetros Meteorológicos de la Estación Ilave (2000-2014) ..	70
Tabla 15: Dotación por Región.....	71
Tabla 16: Cantidad de Agua que necesitamos. ....	72
Tabla 17: Coeficientes de escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el área de captación.....	73
Tabla 18: Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio. ....	75
Tabla 19: Altura, área hidráulica, Perímetro mojado y Radio hidráulico en secciones para colectar el agua de lluvia. ....	80
Tabla 20: Parámetros, límites máximos permisibles de la calidad de agua.....	84
Tabla 21: Vivienda familiar y área total de techos construidos con lámina galvanizada.....	86
Tabla 22: Jefes de familia encuestados que consumen agua de los pozos rústicos .....	88
Tabla 23: Familias encuestadas que consumen agua por Lit/pers/día – 2017 .....	89
Tabla 24: Demanda del agua mensualizada para 1 persona .....	93
Tabla 25: Demanda del agua mensualizada para 5 personas.....	94

Tabla 26: Oferta de Precipitación del Agua Mensualizada .....	96
Tabla 27: Precipitación del mes de Diciembre 2016 en (mm) .....	97
Tabla 28: Precipitación del mes de Enero 2017 en (mm).....	98
Tabla 29: Precipitación del mes de Febrero 2017 en (mm).....	99
Tabla 30: Precipitación del mes de Marzo 2017 en (mm) .....	100
Tabla 31: Oferta de Precipitación en (mm) Durante los meses de Diciembre 2016 a Marzo del 2017 .....	101
Tabla 32: Oferta de Precipitación Pluvia Neta de los meses Diciembre – Marzo.....	102
Tabla 33: Altura, Área hidráulica, Perímetro mojado y Radio hidráulico en seccion circular y rectangular .....	105

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

GRAFICO N° 1: Volumen Requerido en un año para una persona .....	94
GRAFICO N° 2: Volumen Requerido en un año para cinco personas.....	95
GRAFICO N° 3: Oferta de Precipitación pluvial Diciembre - Marzo .....	101
GRAFICO N° 4: Oferta de Precipitación Pluvial neta .....	102

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominada “Propuesta de diseño de la captación agua de lluvia mediante coberturas en las viviendas rurales, Fines de Consumo Doméstico en la Comunidad Pucajrani Tirccollo, El Collao - Ilave”, es de gran interés y surge de la preocupación frente a los escasos recursos hídricos que enfrenta el planeta tierra y por ende nuestro país, particularmente la comunidad de Pucajrani Tiracollo. La investigación plantea como objetivos: propuesta de diseño en las viviendas rurales para la captación de agua de lluvia, con fines de consumo doméstico en las viviendas rurales de la comunidad de Pucajrani Tiracollo - Ilave. Uno de los problemas que enfrenta los pobladores de la comunidad de Pucajrani Tiracollo, es que no se cuenta con el abastecimiento de agua potable; porque los pobladores extraen el agua para su consumo de fuentes internas: como acuíferos y manantiales, mediante pozos rústicos. Este modelo de abastecimiento de agua no está cumpliendo con la demanda actual, ocasionando escases de agua potable a la población materia de estudio. El agua además bajo este sistema de captación está expuesta a mayor contaminación. En el aspecto metodológico, se realizó el diagnóstico de la comunidad referente al sistema de saneamiento, aspecto socio económico, social e institucional, así como también sobre los recursos naturales. Por otro lado, se obtuvo la información meteorológica y la metodología del aspecto técnico haciendo énfasis en la propuesta del sistema de captación de agua de lluvia mediante la cobertura de techo en viviendas rurales. Los resultados de la investigación indican que la demanda de agua anual para una familia de 05 personas es de  $91.25\text{m}^3/\text{anual}$ . La oferta de la precipitación neta durante los meses de lluvias alcanza  $721.44\text{mm}$ . Respecto al diseño de captación se ha considerado dos techos de  $120\text{m}^2$  y un tanque cisterna de  $50.5\text{m}^3$  de la población muestra. Asimismo, en la propuesta se ha determinado que el agua de lluvia es apta para el consumo humano.

**Palabras Claves:** Agua de lluvia, coberturas de techo, recursos hídricos, demanda de agua y consumo doméstico.

## ABSTRACT

The present research work called "Proposal of roofs coverages in Rural Houses for the Collection of Rainwater for the Purpose of Domestic Consumption in the Community of Pucajrani Tiracollo, El Collao - Ilave", this proposal of great interest and it arises from the concern regarding the Collao of water resources the planet earth is facing and, therefore, our country, particularly the community of Pucajrani Tiracollo. The research proposes the following objectives: proposal of the roofs coverages design in rural houses for the capture of rainwater for domestic consumption purposes the community of Pucajrani Tiracollo - Ilave.

One of the problems facing the inhabitants of the community of Pucajrani Tiracollo, is that there is no potable water supply; because of this the inhabitants extract the water for their consumption from internal sources, as aquifers and springs, through rustic wells. This model of water supply is not meeting the current demand, causing shortages of drinking water to the population that is subject of this study. Also the water under this system of catchment is exposed to greater contamination.

In the methodological aspect, the diagnosis of the community was carried out regarding the sanitation system, the socio-economic, social and institutional aspects as the well as natural resources. On the other hand, the meteorological information and the methodology were obtained technical aspect, emphasizing the proposal of the rainwater collection system through roof coverages in rural houses.

The results of the research indicate that the annual water demand for a family of 05 people is  $91.25\text{m}^3$  / year. The offer of net precipitation during the rainy months reaches 721.44mm. Regarding the design of the catchment, have been considered two  $120\text{m}^2$  roofs and a  $50.5\text{m}^3$  cistern tank of the sample population. Also in the proposal it has been determined that rainwater is suitable for human consumption.

Key words: Rainwater, roof coverings, water resources, water demand and domestic consumption.

## I. INTRODUCCIÓN

La precipitación influye directamente en el desarrollo de las actividades productivas del poblador rural, sobre todo donde existe un sistema de distribución de agua potable adecuada; sin embargo, cabe indicar que en la comunidad de Pucajrani Tiracollo, no existe un sistema de abastecimiento de agua potable.

Los pobladores de Pucajrani Tiracollo recolectan agua de pozos rústicos, el cual no siempre es potable; siendo un factor que dificulta el desarrollo del poblador rural. En base a esta problemática se propone la captación de agua de lluvia mediante las coberturas de techo en las viviendas rurales, con fines de consumo doméstico, como fuente alterna de abastecimiento del recurso hídrico.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable seguros, adecuados y accesibles, conjuntamente con un tratamiento apropiado; permitirán eliminar o disminuir el riesgo de contraer enfermedades en la población de Pucajrani Tiracollo. La importancia de captar, almacenar utilizar el agua de lluvia para el uso doméstico y consumo humano es de gran relevancia para poblaciones, sobre todo en aquellas que no tienen acceso a este elemento vital. La propuesta de la siguiente investigación es contar con fuentes alternas de dotación de agua, que brinde agua de buena calidad y apto para el consumo humano;

Para su estudio, ha sido necesario identificar los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia, su funcionamiento, los criterios de diseño más sobresalientes así como su funcionamiento; además las características de la zona de estudio respecto al aspecto socioeconómico y físicas de la ubicación del ámbito donde se ha planteado esta propuesta; por otro lado ha sido necesario y fundamental evaluar y proponer los techos de las viviendas en la comunidad de Pucajrani Tiracollo, su nivel de escurrimiento el mismo que en un 90% presentan características apropiadas para captar agua de lluvia en óptimas condiciones.

La ampliación significativa del acceso al consumo de agua potable en las zonas rurales de nuestro país es uno de los desafíos que debemos enfrentar como futuros profesionales comprometidos con la mejora de la calidad de vida del poblador rural.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El recurso hídrico es uno de los recursos renovables más importantes para la humanidad y los demás seres vivos del planeta, pues ninguna actividad puede desarrollarse sin ella, hoy en día la sociedad enfrenta graves y complejos problemas relacionados con el agua. La contaminación, deforestación y la sobreexplotación de acuíferos, ha reducido las reservas abastecedoras del elemento líquido en muchas ciudades del Perú, particularmente de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo de la provincia del Collao – Ilave.

Los pobladores de la comunidad de campesina Pucajrani Tiracollo, extraen el agua de fuentes subterráneas, como son los pozos artesanales, de riachuelos, pozo manantial. Este sistema no está cumpliendo con la demanda actual, ocasionando desabastecimiento de agua potable a la población materia de estudio. El agua además bajo este sistema de captación está expuesta a mayor contaminación.

Por otro lado la carencia de una política adecuada para la gestión y uso de agua potable en la zona de estudio, se evidencia en la necesidad de recuperar el recurso hídrico producido por las precipitaciones pluviales para el consumo humano. Sin embargo, esta técnica no está siendo aplicada integralmente, pese a que es una de las técnicas más antiguas. Asimismo la deforestación de las cuencas hidrográficas, en las cuencas altas y medias afecta seriamente el recurso hídrico, este problema, sumado a la escasa precipitación media en cada cuenca agrava la disponibilidad del recurso hídrico superficial, específicamente para el consumo humano.

En este contexto el crecimiento demográfico ha generado mayor atención a sus necesidades básicas: como son agua potable. Esto ha producido el colapso en el abastecimiento y calidad del agua potable para el consumo humano, dada la escasez de agua durante la época de estiaje (Abril - Noviembre). El ahorro, el buen manejo y la gestión del agua es fundamental para hacer frente a esta situación. Por ello, los esfuerzos se orientan al uso de diferentes técnicas para lograr este objetivo teniendo entre ellas implementar sistemas de recuperación que permitan el mayor ahorro de agua posible, el revestimiento de la infraestructura de almacenamiento, así como el fortalecimiento institucional a fin de garantizar la adecuada operación y mantenimiento.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de investigación tiene como objetivo fortalecer la propuesta de la captación de agua de lluvia, mediante las coberturas de techo de las viviendas, con fines de consumo doméstico, en las viviendas rurales de la comunidad campesina de pucajrani Tiracollo – Ilave. Por lo que se ha planteado las siguientes preguntas centrales:

- ¿De qué manera, las coberturas de techo de las viviendas rurales, garantiza la captación de agua de lluvia para el consumo doméstico en la comunidad de Pucajrani Tiracollo – el Collao Ilave?
- ¿Cómo influye la carencia de los sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en la gestión y uso de agua potable en la zona de evaluación y/o estudio?

## 1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.3.1. Hipótesis general

-La propuesta de la captación de agua de lluvia, mediante coberturas de techos en las viviendas rurales, garantiza una gestión del agua con calidad para el consumo doméstico en las viviendas rurales en la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, El Collao – Ilave.

### 1.3.2. Hipótesis específico

-La propuesta del aprovechamiento de agua de lluvia mediante las cobertura de techo en el medio rural, garantiza un suministro adecuado del agua, que no representa ningún riesgo para la salud de los pobladores de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, El Collao – Ilave.

-El diseño de un sistema de captación, almacenamiento, distribución, del agua de lluvia constituye una alternativa para abastecer agua para el consumo doméstico en las viviendas rurales de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, el Collao - Ilave.

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La importancia del recurso agua en la vida del hombre es fundamental, pues este elemento es la base de su existencia, sin este recurso en cantidad y calidad adecuada, la vida de todo ser viviente sufre primero un grave deterioro y si dicha carencia continua en el tiempo, la vida se extingue; por lo tanto su importancia no admite discusión, y su preservación debe ser la mayor prioridad para el hombre.

Actualmente en diversas ciudades se presentan racionamientos en el abastecimientos de agua potable y por otra parte existen importantes sectores de la población que no han sido incorporados a la red de abastecimiento, circunstancias estas motivadas por la falta del recurso hídrico debido a la carencia de fuentes cercanas adecuadas, lo que determina el tener que efectuar importantes inversiones en obras de infraestructura para conducir el agua a los centros de tratamiento, problemática que cada vez se torna más aguda.

El aumento de la población y el consecuente crecimiento de la demanda por alimentos y agua, particularmente el agua dulce, se ha convertido en uno de los elementos ambientales más amenazados tanto en su calidad y cantidad; comprometiendo la calidad de vida de la población de la comunidad de Pucajrani Tiracollo el Collao-Ilave, consecuentemente sus posibilidades de desarrollo se han visto limitadas a falta de este recurso elemental como es el agua para consumo doméstico.

El crecimiento demográfico ha producido el colapso en el abastecimiento y calidad del agua potable para el consumo humano, puesto que los pobladores extraen el elemento líquido, de las fuentes internas o subterráneas y superficiales. Sin embargo no toda el agua es utilizada, debido a la poca eficiencia de los sistemas de distribución y uso. Además, las fuentes de agua disminuyen considerablemente en la época de estiaje; por otro lado, otro factor que impide el consumo de agua de calidad es la presencia de residuos sólidos que contaminan el agua.

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos. Pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y publicar técnica y científicamente, sólo en época reciente. La captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y agricultura y en algunos casos particulares para el consumo doméstico; la presente investigación está dirigida

principalmente a la interceptación del agua de lluvia, la recolección mediante canaletas en cobertura de techo y el almacenamiento en reservorios, tanques exclusivos para el consumo doméstico, procurando un funcionamiento eficiente.

El uso doméstico del agua, es un elemento muy importante dentro de su gestión integral, ya que abarca el empleo del agua por los miembros de la población para su consumo, higiene y saneamiento. El acceso de los pobladores a fuentes seguras de agua de buena calidad, en el tiempo y espacio, y a instalaciones adecuadas es fundamental para garantizar el bienestar del poblador rural y esencial para reducir los índices de pobreza.

El presente trabajo de investigación, se enmarca en la aplicación de conceptos netamente técnicos para su evaluación y/o propuesta y posterior diseño de pequeñas obras particulares y comunales para cosechar (captar) y almacenar el agua de lluvia, como alternativa para enfrentar la sequía y el cambio climático de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, el Collao-Ilave, para garantizar el agua de buena calidad.

## **1.5. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación tiene relación con estudios realizados a nivel mundial y de la misma forma en la región sur de nuestro país Perú, que básicamente están basados en la escasez de recursos hídricos como resultado del cambio climático que se presenta en nuestra planeta tierra; en tal sentido mencionaremos los antecedentes siguientes:

### **1.5.1. A nivel global**

En épocas antiguas, las personas buscaban siempre establecerse cerca de fuentes de aguas superficiales como ríos o mares, para usar directamente esta agua para su consumo, abastecimiento, regadío, transporte, entre otras actividades. Las aguas de lluvia siempre estuvieron ahí y supieron ser aprovechadas por las civilizaciones. Sin embargo, no eran dependientes de ella sino que solo las usaban como un aporte importante para los cultivos y necesidades secundarias, debido al amplio abastecimiento con el que contaban, gracias a la zona fértil en donde decidían ubicarse. No obstante, no pudo continuar así debido al crecimiento demográfico que obligaba a las nuevas poblaciones a moverse a lugares mucho más áridos y secos.

Debido a esta situación, fueron ellos los que empezaron a valorar mucho las aguas pluviales y empezaron a aprovecharla de manera completa, ya que de eso dependía prácticamente todo su abastecimiento y consecuente supervivencia. (UNEP, 2009).

La Oficina Regional de la FAO (2000), menciona que los datos de sistemas de captación de lluvia más antiguos con los que se cuentan datan de aproximadamente 4000 años atrás, específicamente en el desierto de Neguev, que comparten hoy los países de Israel y Jordania, en donde manipulaban las escorrentías dejadas por las lluvias con desmontes dirigidos hacia predios agrícolas, lo cual era el uso más común en sus inicios.

Tiene importancia para la presente tesis, lo ocurrido en la época romana, en donde se captaban las aguas de lluvias para ser utilizadas en viviendas unifamiliares denominadas domos. Dichas construcciones, contaban con atrios, que eran espacios internos de las viviendas a cielo abierto, en donde recolectaban el agua de lluvia que ingresaba a las viviendas por agujeros en los techos (compluvium), para ser depositados en un estanque central (impluvium). Desde ahí se abastecía el hogar de agua principalmente para los baños y tinas.

Asimismo, se encuentran sistemas de recolección de aguas en China e Irán, que datan de más de 2000 años, en donde utilizaban mecanismos propios de cada lugar.

En los últimos tiempos, el aprovechamiento de aguas pluviales ha sido muy poco utilizado y hasta casi completamente ignorado debido a que las tecnologías en el aprovechamiento y transporte de aguas superficiales ha tenido un gran desarrollo permitiendo abastecer a las ciudades. Sin embargo, se sabe que estas tecnologías no siempre son reguladas y que se están agotando las fuentes de agua poco a poco. Lo que es peor, cuando no se ha podido encontrar fuentes de aguas superficiales, se ha optado por suplir esa necesidad con la explotación de aguas subterráneas, para lo cual usan métodos muy invasivos que contaminan el flujo de aguas subterráneas y en algunos casos causa el descenso de la capa freática.

En Asia, el país que más ha desarrollado en sistemas de captación de agua de lluvia es la India, principalmente por las condiciones meteorológicas con las que cuenta. En este país, se vive una especie de diluvio breve en donde llueve por 100 horas anuales aproximadamente. Otra de las razones es que muchas de sus aguas superficiales sufren una contaminación fuerte por arsénico, lo que evita su potabilización. Con ayuda de la

Organización No Gubernamental (ONG), se han instalado más de 1,000.00 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.

En Tailandia, el almacenamiento de agua de lluvia es un sistema apropiado y económico para obtener agua de muy buena calidad. Esta reserva es causada por escurrimiento del agua por los techos y se almacena en vasijas de arcilla. Estos recipientes están equipados con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje. 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.

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. Asimismo, se inició un proyecto por parte de una ONG con el gobierno de Brasil para construir un millón de tanques, hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre, para la recolección de agua de lluvia en un periodo de 5 años y así, poder favorecer a 5 millones de personas. Cabe mencionar que también en algunas zonas amazónicas, las comunidades nativas recolectan 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 México, se desarrolló el proyecto “Agua y Vida” en el cual, el primer desarrollo tecnológico fue un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que contaba con una cisterna con capacidad de reserva de 500,000 litros y una superficie de captación cubierta de piedra laja. Otra obra llamada “Techo-Cuenca”, consta de dos cubiertas con pendiente que se unen en un canal, el cual está conectado a una tubería que conduce el agua a un depósito con capacidad para almacenar 285,000 litros. Varias de las construcciones de tipo institucional como jardines de niños y escuelas municipales, están equipadas con sistemas de aprovechamiento de agua lluvia que es utilizada para la descarga de inodoros, el lavado de pisos y baños, y para regar áreas verdes.

En Alemania, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron introducidos como parte de un avance urbano a gran escala en 1998, con el fin de

contrastar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima. El agua cae en las cubiertas de 19 edificios (32,000 m<sup>2</sup>), se recoge y acumula en un tanque subterráneo de 3,500 m<sup>3</sup>. Otro proyecto consistió en que el agua de lluvia de todas las cubiertas (7,000 m<sup>2</sup>) es descargada a una cisterna con capacidad de 160 m<sup>3</sup>, junto con el agua de escurrimiento de las calles (área de 4,200 m<sup>2</sup>). El agua se utiliza para la descarga de elementos sanitarios y el riego de áreas verdes luego de ser tratada en varias etapas. La mayoría de los contaminantes del flujo inicial son evacuados al alcantarillado y el sistema retiene aproximadamente el 58% del agua de lluvia que cae dentro del perímetro de las instalaciones. Con ello, según una estimación basada en un modelo de simulación a 10 años, se logrará ahorrar con el sistema aproximadamente 2,430 m<sup>3</sup> de agua potable por año.

### **1.5.2. A nivel nacional**

En el Perú ante la carencia del agua, a consecuencia del calentamiento global, existen prácticas sociales que pueden contribuir a su mejor gestión. Una evidencia viva de ellas son las llamadas amunas, palabra quechua que se refiere a un sistema prehispánico de siembra y cosecha del agua.

El sistema de las amunas consiste en captar las aguas que se producen por el escurrimiento de las lluvias en las alturas, arriba de los 4.400 msnm, a través de acequias y llevarlas hasta zonas previamente identificadas donde hay rocas fisuradas o fracturadas de la montaña. Al ingresar a la roca, el agua se desplaza lentamente dentro de ella para aflorar, meses después, por los manantiales (ojos de agua o puquios) y arroyos que están entre 1.500 y 1.800 metros más abajo. Para que las amunas puedan funcionar es indispensable la existencia de la comunidad, pues constituye un factor fundamental para el trabajo, tanto en el aspecto físico como de organización de este proceso de siembra, cosecha, conducción e infiltración del agua de lluvia en la montaña, para recargar “humanamente” los acuíferos.

En el Perú, se tiene una investigación de la Universidad Pontificia Católica del Perú, el cual lleva como título “Aprovechamiento Sostenible de Recursos Hídricos Pluviales en Zonas Residenciales”, La presente tesis 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 es la Nueva Ciudad de Morococha, ubicada en la provincia de Yauli, departamento de Junín, en la zona central del Perú. con el estudio realizado se obtuvo una capacidad de abastecimiento anual de 31.95m<sup>3</sup>, valor con el cual se analizaron las variables ambientales y sus beneficios para determinar la conveniencia del sistema de captación pluvial en la zona de estudio.

### **1.5.3. A nivel local**

En la Región de Puno se tiene investigaciones por la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, en las localidades de Molino – Juli, de la misma forma también se tiene un estudio realizado sobre el tema de la presente tesis en la localidad de Vilca Maquera – Pilcuyo, de los cuales en la localidad de Molino – Juli, los resultados de la investigación indican que la demanda de agua anual para una familia de 04 personas es de 73m<sup>3</sup>/año. La oferta de la precipitación neta durante los meses de lluvias alcanza 721.44mm. Respecto al diseño de captación se ha considerado dos techos de 100m<sup>2</sup> y un tanque cisterna de 70.5m<sup>3</sup> de la población muestra. Asimismo, en la evaluación se ha determinado que el agua de lluvia es apta para el consumo humano.

## **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. Objetivo general**

-Propuesta de Diseño de captación, almacenamiento y distribución del agua de lluvia, mediante coberturas de techo en las viviendas rurales, con fines de consumo domésticos, en la comunidad de Pucajrani Tiracollo del Distrito de Ilave.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

-Fortalecer las coberturas de techos de las viviendas rurales para la captación de agua de lluvia con fines de consumo doméstico, en la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo – Ilave.

-Diseñar un sistema de captación, almacenamiento, distribución del agua de lluvia para el consumo doméstico, en las viviendas rurales de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo – Ilave.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1. PRECIPITACIÓN

La principal fuente de humedad para la precipitación la constituye la evaporación desde la superficie de los océanos. Sin embargo, la cercanía a los océanos no conlleva una precipitación proporcional, como lo de muestran muchas islas desérticas. Son los factores del clima ya estudiados (latitud, altitud, continentalidad, corrientes marinas, vientos dominantes) y las barreras orográficas, las que determinan la humedad atmosférica sobre una región, (ANAYA M., (2009)).

##### 2.1.1. Definición de precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garúas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. En Estados Unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en:

- Ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h
- Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h
- Fuerte, por encima de 7.6 mm/h

La precipitación también, es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por ende, favoreciendo la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren agua para vivir. La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. (CASAS T. 1977).

##### 2.1.2. Origen de precipitaciones

En esencia toda precipitación de agua en la atmósfera, sea cual sea su estado (sólido o líquido) se produce por la condensación del vapor de agua contenido en las masas de aire, que se origina cuando dichas masas de aire son forzadas a elevarse y enfriarse. Para

que se produzca la condensación es preciso que el aire se encuentre saturado de humedad y que existan núcleos de condensación (VILLON B., 2011).

- a) El aire está saturado si contiene el máximo posible de vapor de agua. Su humedad relativa es entonces del 100 por 100. El estado de saturación se alcanza normalmente por enfriamiento del aire, ya que el aire frío se satura con menor cantidad de vapor de agua que el aire caliente. Así, por ejemplo, 1 m<sup>3</sup> de aire a 25 °C de temperatura, cuyo contenido en vapor de agua sea de 11 gr, no está saturado; pero los 11 gr lo saturan a 10 °C, y entonces la condensación ya es posible.
- b) Los núcleos de condensación (que permiten al vapor de agua recuperar su estado líquido), son minúsculas partículas en suspensión en el aire: partículas que proceden de los humos o de microscópicos cristales de sal que acompañan a la evaporación de las nieblas marinas. Así se forman las nubes. La pequeñez de las gotas y de los cristales les permite quedar en suspensión en el aire y ser desplazadas por los vientos. Se pueden contar 500 por cm<sup>3</sup> y, sin embargo, 1 m<sup>3</sup> de nube apenas contiene tres gramos de agua.

Las nubes se resuelven en lluvia cuando las gotitas se hacen más gruesas y más pesadas. El fenómeno es muy complejo: las diferencias de carga eléctrica permiten a las gotitas atraerse; los núcleos, que a menudo son pequeños cristales de hielo, facilitan la condensación. Así es como las descargas eléctricas se acompañan de violentas precipitaciones. La técnica de la lluvia artificial consiste en sembrar el vértice de las nubes, cuando hay una temperatura inferior a 0 °C, con yoduro de sodio; éste se divide en minúsculas partículas, que provocan la congelación del agua; estos cristales de hielo se convierten en lluvia cuando penetran en aire cuya temperatura es superior a 0 °C. (VIESSMAN, W 2003)

### 2.1.3. Tipos de precipitación

En relación a su origen, se pueden distinguir 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 convección** 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. (VELASQUEZ 2012).

Intensidad de precipitación es igual a precipitación/tiempo, y se expresa en mm/hora.

#### 2.1.4. Medición de precipitaciones

Las precipitaciones se miden en altura de agua, o espesor medido, en vertical de la lámina de agua que se acumularía sobre una superficie horizontal, si todas las precipitaciones se recogiesen sobre ella. La precipitación se expresa en mm de agua por unidad de superficie, que es lo mismo que l/m<sup>2</sup> (CHOW, V.T. 1993).

Para medir las precipitaciones existen diferentes tipos de aparatos, aunque ninguno de ellos garantiza al 100% la correcta medida, debido, fundamentalmente a que todos ellos introducen una perturbación aerodinámica en sus proximidades, que la muestra recogida es muy pequeña en comparación con el total precipitado y a que nunca se puede repetir la medida (BAEZ A.- BELMONT R).

Los aparatos de medida pueden ser:

**Pluviómetro:** es un aparato que sirve para medir la cantidad de precipitación caída durante un cierto tiempo. La idea base de este dispositivo descansa en el hecho de que la lluvia se mide por la cantidad de milímetros que alcanzaría el agua en un suelo perfectamente horizontal, que no tuviera ningún tipo de filtración o pérdida. Se han ideado infinidad de artilugios para este cometido, pero con el fin de hacer las medidas uniformes, la OMM (Organización Meteorológica Mundial ) recomienda una serie de normas destinadas a que las medidas, por una parte, tengan la adecuada precisión y por otra, sean capaces de evitar múltiples errores que harían inviables y absurdas las medidas.

Un pluviómetro está formado por una serie de vasos cilíndricos en cuya boca de recepción lleva un aro de borde muy afilado y calibrado a 200 cm<sup>2</sup>. Generalmente, se fabrican en chapa de metales diversos, cortando y plegando laminas cuyas superficies y aristas hay que dar forma, remachar, soldar, etc. Tanto es así que los contornos a unir mediante soldaduras suman más de 190 centímetros, lo que requiere una laboriosa y costosa mano de obra.

**Fluviógrafos:** Son instrumentos que registran la precipitación automáticamente y de manera continua en intervalos de tiempo de hasta una semana. Estos medidores son más costosos y más propensos a error, pero pueden ser la única forma posible para ciertos sitios remotos y de difícil acceso. Estos medidores tienen la gran ventaja que indican la intensidad de la precipitación, la cual es un factor de importancia en muchos problemas.

El fluviógrafo, es el aparato que mide la cantidad de agua caída y el tiempo en que ésta ha caído. Lo más importante de una precipitación no es sólo la cantidad de agua recogida sino el tiempo durante el cual ha caído. Así, el fluviógrafo sirve para realizar una grabación automática de la precipitación.

### 2.1.5. Formas de precipitación

Las gotas de agua pequeñas son casi esféricas, mientras que las mayores están achatadas. Su tamaño oscila entre los 0.5 y los 6.35 mm, mientras que su velocidad de caída varía entre los 8 y los 32 km/h, dependiendo de su volumen. (Vellón, 2011, p.70).

Por la forma en que cae, se pueden clasificar diversas formas de precipitación:

- **Llovizna:** son gotas de agua pequeñas por lo que su velocidad de caída es bastante baja y rara vez sobrepasa un valor de 1 mm/hora.
- **Chispear:** se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.
- **Lluvia:** consiste en gotas de agua líquida con diámetros mayores a las que componen la llovizna propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.
- **Escarcha:** es una capa de hielo que se forma producto del enfriamiento de una superficie húmeda producida por lluvia o llovizna.

- **Chubasco:** el viento, las gotas y la intensidad, aumentan.
- **Tormenta:** puede ser débil o intensa, su precipitación es alta y las gotas son grandes, el viento es intenso e incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- **Nieve:** está compuesta por cristales de hielo blanco o traslúcido.
- **Granizo:** precipitación en forma de bolas o cristales irregulares de hielo que se producen generalmente por nubes conectivas.

## 2.2. IMPORTANCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN LA INGENIERÍA

En la ingeniería agrícola es influida por factores climáticos en el riego, drenaje, obras hidráulicas y el uso del agua en determinadas zonas dependiendo la precipitación al igual que la conservación de tierras. Muchas obras de ingeniería Agrícola se ven profundamente influidas por los factores climáticos, por su importancia destacan las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto dimensionamiento del drenaje garantizará la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto. El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y en consecuencia el dimensionamiento adecuado de las obras hidráulicas, así por ejemplo los vertedores de excedencias de las presas, garantizará su correcto funcionamiento y la seguridad de las poblaciones que se sitúan aguas abajo. El cálculo de las lluvias extremas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evacuar volúmenes de agua que podrían producir inundaciones.

Las características de las precipitaciones pluviales que se deben conocer para estos casos son:

**La intensidad de la lluvia y duración de la lluvia:** estas dos características están asociadas. Para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia disminuye su intensidad media, la formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, con base en los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otros sitios próximos con las características hidrometeoro lógicas similares. Dicha formulación se conoce como relación Intensidad-Duración-Frecuencia o comúnmente conocidas como curvas IDF.

Las precipitaciones pluviales extremas período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 y hasta 10.000 años, para cada sitio particular o para una cuenca, o la

precipitación máxima probable, o PMP, son determinadas con procedimientos estadísticos, con base a extensos registros de lluvia.

### **2.3. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA**

La captación de agua de lluvia es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc. El agua almacenada puede ser usada para cualquier fin, siempre y cuando utilicemos los filtros apropiados para cada uso, es decir, para usos básicos como limpieza de ropa, de pisos, sanitarios y riego puede usarse un filtro muy sencillo; para aseo personal y para agua que se pretenda beber, se deberá tener un sistema de filtros diferente, adecuados para estos fines (UNATSABAR, 2003).

El agua de lluvia puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Esto haría posible el hacer más llevadero el tiempo de secas y en un futuro sobrevivir las secas, ya que por el mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua ira escaseando progresivamente lo cual significa que en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia (HERRERA, 2010, p. 82).

### **2.4. PRINCIPALES SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA**

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son utilizados intensivamente en muchas zonas del planeta y es el resultado de las necesidades de demanda de agua. Se implementan cuando no existe una red de acueducto o el suministro es deficiente; cuando no se dispone de los recursos, es decir no exista dinero para invertir y los materiales de construcción son muy costosos, cuando la calidad del agua es muy baja.

Provocada por su contaminación, cuando la disponibilidad de agua subterránea y superficial es muy baja o por prácticas culturales y la legislación vigente de cada región (UNATSABAR, 2001).

Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar en fechas recientes.

La captación de agua de lluvia es un medio tan antiguo de abastecimiento de agua, que perdió importancia a partir del rápido crecimiento de las ciudades y cuando los avances tecnológicos permitieron introducir el agua por medio de tuberías en nuestros domicilios.

Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia, se han practicado desde que surgieron los primeros asentamientos humanos y se tiene conocimiento de que se empezaron a utilizar hace más de 4000 años a.c. en la antigua Mesopotamia, cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta tomando como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico la captación de agua de lluvia.

## **2.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.**

Como se ha podido apreciar, se han utilizado distintos Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia a través del tiempo hasta la actualidad; por tal motivo a continuación se presenta una clasificación de los métodos alternativos de captación y uso eficiente de agua, las cuales fueron identificados a través de la investigación y experiencias de investigadores dedicados al uso eficiente del agua y basada conforme a la forma como el agua escurre por techos o sobre suelos naturales, caminos, patios o áreas de captación especialmente preparadas y al uso que se le da. Esta clasificación incluye: (HERRERA, 2010).

- Sistemas para uso humano.
- Sistemas para uso agrícola y ganadero.
- Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.
- Captación de agua de niebla.

En seguida se hace una descripción detallada de cada sistema.

### Sistemas para uso humano.

Dentro de esta clasificación entran las técnicas de captación de agua de lluvia que aprovechan el escurrimiento superficial captado a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas y utilizarse en la vida diaria como son:

Los sistemas de captación de agua de lluvia: es un medio para obtener agua para consumo humano y uso doméstico. Consiste de cinco elementos principales que son la captación, recolección y conducción, interceptor o filtro, almacenamiento y un sistema de distribución los cuales se describen detalladamente más adelante. Estos sistemas pueden ser muy sencillos o sofisticados con tratamientos automáticos en cada proceso y con monitoreo electrónico dependiendo del uso que se le dé al agua captada como: uso sanitario, limpieza, alimentación, riego de jardines, etc. Existe una gran diversidad de estos sistemas en los cuales comúnmente varía principalmente el elemento de almacenamiento utilizando lagunas, zanjas o aljibes revestidos con ladrillo, polietileno o plástico, piletas de ladrillo de arcilla y concreto y pozos cisternas.



*FIGURA N° 1: Sistema de captación de agua de lluvia en techos – 2017.*

*Fuente: Elaboración propia*

### **Sistemas para uso agrícola y ganadero.**

Estos sistemas están enfocados a mejorar la producción de los cultivos, árboles y pastizales en áreas propensas a sequía en lugar de que el escurrimiento superficial provoque erosión además de convertirse en lugares aptos para abrevadero de ganado. Funcionan bajo el concepto de micro captación in situ, el cual manipula los escurrimientos superficiales para su almacenamiento en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes, que aún representan la fuente principal de agua en muchos ejidos y ranchos (HERRERA, 2010).

Las técnicas de micro captación in situ involucran conservación del suelo, aumentan la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de sequía y mejoran el entorno ecológico.

Según Herrera (2010), la micro captación in situ del agua de lluvia se diferencia de la captación general, básicamente en tres aspectos:

- Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
- Porque el área de esorrentía, está formada por micro captaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que dicha área está adyacente al área destinada al almacenamiento.
- Porque el área de almacenamiento incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

Estos sistemas de captación de agua de lluvia son especialmente relevantes para zonas áridas y semiáridas y donde los problemas de degradación ambiental, sequía y presiones de población son más evidentes.

### **Recarga de mantos acuíferos en zonas rurales.**

La falta de estudios geo hidrológicos, geofísicos, y geológicos en la realización de nuevas construcciones, ocasiona que la captación de agua pluvial sea menor y no se le dé la importancia que amerita, ya que al ocupar lo que antes eran áreas verdes con nuevos desarrollos habitacionales, consorcios comerciales, etcétera.

La infiltración del agua de lluvia al subsuelo se reduce por el incremento de las zonas pavimentadas y su desalojo a través de drenajes, lo que genera problemas de gran magnitud en obras recientes; pues la sobreexplotación del manto acuífero modifica de manera considerable la estructura del subsuelo. Se parte de estos problemas para darnos cuenta de la importancia que tiene la infiltración, no solo para el abastecimiento del agua; sino para la preservación del ciclo hidrológico (HERRERA, 2010).

### **Captación de agua de niebla.**

Se presenta el estudio de las condiciones climáticas y de la captación de agua de niebla en Lachay y Atiquipa, considerada como áreas representativas de lomas ubicadas en las intercuencas de la costa desértica del Perú. El clima en las lomas costeras se caracteriza por presentar una ocurrencia de niebla entre mayo y diciembre, una precipitación anual de 67.8 mm y una temperatura promedio de 13.6°C (agosto) y 22.2°C (febrero).

Mientras que la captación de agua de niebla (CAN) tuvo un promedio de 2.8 l/m<sup>2</sup>/d (Lachay) y 1.7 l/m<sup>2</sup>/d (Atiquipa) para el periodo mayo-agosto de 1988. Los resultados demostraron que la niebla es una fuente de recurso hídrico en las lomas que requiere ser evaluada con mayor información de CAN y de parámetros meteorológicos, a fin de establecer la disponibilidad del recurso hídrico en el año.

## **2.6. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.**

La información que a continuación se presenta se ha obtenido al realizar el análisis de diferentes proyectos elaborados por diversas instituciones, así como de manuales de sistemas de captación de agua de lluvia, con la finalidad de facilitar al lector, obtener el conocimiento adecuado para la fácil elaboración de un sistema de captación de agua de lluvia. Al realizar este análisis podemos darnos cuenta que las consideraciones de diseño para un sistema de captación de agua de lluvia, por tratarse de gastos menores no necesita de una implementación afondo de las leyes de la hidráulica, esto no quiere decir que no sean necesarias, sino todo lo contrario, la persona responsable del diseño de un sistema de captación de agua de lluvia debe tener amplio conocimiento de la aplicación de las leyes de la hidráulica a fin de asegurar el funcionamiento del sistema.

## Ventajas y Desventajas

La captación del agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes **ventajas** (ANAYA, 2009, pág. 26).

- Alta calidad del agua de lluvia.
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- No requiere energía para la operación del sistema.
- Fácil de mantener.
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.
- Es un sistema autónomo.
- Disponibilidad del agua almacenada para su consumo.

Las **desventajas** de este método de abastecimiento de agua son las siguientes:

- Al costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

## Aplicación

La captación de agua de lluvia para consumo humano es recomendada en primera instancia para zonas rurales o urbano marginales, con niveles de precipitación pluviométrica que hagan posible el adecuado abastecimiento de agua de la población beneficiada y que no cuentan con acceso a fuentes superficiales cercanas, y donde el nivel freático de las aguas subterráneas es muy bajo, pero en la actualidad es importante hacer provecho de la captación de agua en todas las zonas pobladas aunque exista un sistema de abastecimiento; considerando así a la captación de agua como un sistema alternativo o complementario de distribución de agua.

## **Factibilidad**

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos, sociales y ambientales.

### **❖ Factor Técnico.**

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

Producción u “oferta” de agua; ésta relacionada directamente con la precipitación pluvial durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello es necesario contar con datos de precipitación suministrados por la autoridad competente del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

Demanda de agua; La demanda depende de las necesidades del interesado y los usos que quiere darle al agua.

### **❖ Factor Económico**

Existe una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua (UNATSABAR, 2001).

#### ❖ **Factor social.**

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que se puedan afectar con la implementación de las tecnologías aplicadas. Al efecto, el responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear.

Los análisis deben considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto (UNATSABAR, 2001).

#### ❖ **Factor Ambiental.**

En la actualidad todos los proyectos deben considerar las consecuencias ambientales que se contraen con la obra a realizar, en este caso las obras alternativas contribuyen con el factor ambiental, la disponibilidad del agua como elemento primordial para la conservación de otros recursos naturales como flora, fauna y regeneración natural, mejora el ambiente escénico, el clima es más saludable, lo que a la vez hace que las tierras ubicadas en estas condiciones adquieran un mejor valor. En el aspecto agronómico se considera que en mejores condiciones ambientales, hay menos daños de plagas a los cultivos, además de alargar las reservas de agua potable disponibles al ahorrar en el consumo (HERRERA, 2010, pág. 81).

### **2.7. COMPONENTES DEL SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.**

Retomando que la captación de agua de lluvia es considerada en este estudio como una tecnología utilizada para habilitar en tal sentido los techos y los pisos, o bien, otras áreas impermeables de las construcciones, para ser almacenada luego en diversos tipos

de cisternas. Se tiene que el sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos y que se pueden apreciar en la siguiente figura 2.

Los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia para el aprovechamiento del agua de lluvia a nivel familiar para consumo doméstico son:

- ❖ Área de captación.
- ❖ Sistema de recolección y conducción.
- ❖ Interceptor.
- ❖ Almacenamiento.
- ❖ Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo.

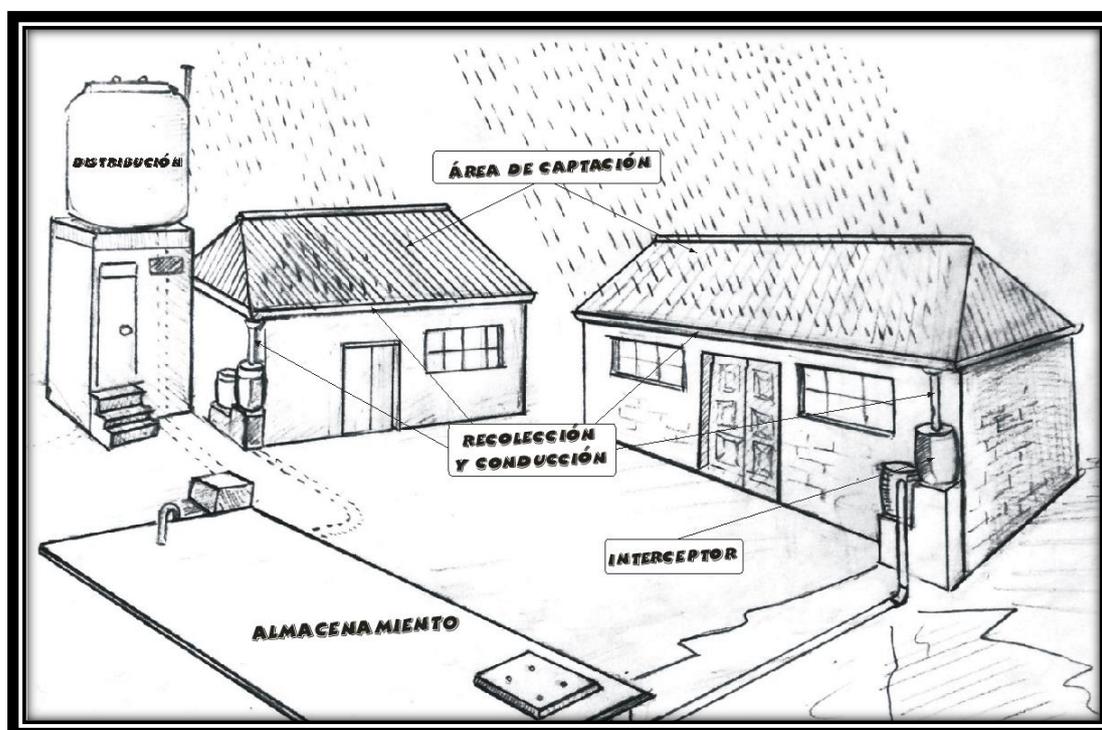


FIGURA N° 2: Sistema de captación de agua de lluvia en techos – 2017.

Fuente: Guía para Captación de Agua de Lluvia CEPIS 2014

#### a) El área de captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.

La plancha metálica es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocción.

La paja, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, bebida de ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc. (UNATSABAR, 2001).

Para el diseño se debe considerar los siguientes puntos:

- ❖ La superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda requerida. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento.
- ❖ El techo de la edificación deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección, debe tener una pendiente no menor al cinco por ciento (5%) en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo y el coeficiente de escurrimiento.
- ❖ En el caso de utilizar aéreas sobre terreno, estas deben estar limpias y ser lo suficientemente impermeables para no permitir que cierta parte importante del agua precipitada se pierda por infiltración en el terreno.

## b) Recolección y Conducción

Este componente es una parte esencial de los Sistemas de Captación de Agua Pluvial en Techos ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesita, sin embargo, son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir, pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas. (VELAZQUEZ, 2012, p.95)

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesita, sin embargo, son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir, pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas. (VELAZQUEZ, 2012, p.95).

Para el diseño se debe considerar los siguientes puntos:

- ❖ Las canaletas podrán ser de cualquier material que no altere la calidad fisicoquímica del agua recolectada.
- ❖ El ancho mínimo de la canaleta será de 75 mm y el máximo de 150 mm.
- ❖ Las canaletas deben ser lo suficientemente profundas para mantener el agua recolectada y prevenir que se rebote.
- ❖ Las canaletas deberán estar fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo.
- ❖ El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta.
- ❖ La distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- ❖ El máximo tirante de agua en las proximidades del interceptor no deberá ser mayor al 60% de la profundidad efectiva de la canaleta.

- ❖ La velocidad del agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1 m/s.
- ❖ Para calcular la capacidad de conducción de la canaleta se podrán emplear formulas racionales como la de Maning, con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes con la calidad física del material con que fue construida la canaleta.
- ❖ Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y lo más lisas posibles para evitar el represamiento del agua.
- ❖ En el caso de techos planos de losas de concreto, se recomienda conducir el agua hacia un punto donde se capte y canalice a la cisterna.

Las canaletas se fijan al techo con:

-Alambre

-Madera

-Clavos.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. El sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas (HERRERA, 2010, p.85).

FIGURA N° 3: *Canaletas de recolección.*

*Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.*

### c) **Interceptor**

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.

El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo para lo cual se podrán emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen.

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m<sup>2</sup> de techo.

-El volumen del interceptor se debe calcular a razón de un litro de agua de lluvia por metro cuadrado del área del techo drenado.

-El techo destinado a la captación del agua de lluvia puede tener más de un interceptor. En el caso que el área de captación tenga dos o más interceptores, ellos deberán atender áreas específicas del techo y por ningún motivo un determinado interceptor deberá captar las primeras agua de lluvia de un área que haya sido atendida por otro interceptor.

-Al inicio del tubo de bajada al interceptor deberá existir un ensanchamiento que permita encauzar el agua hacia el interceptor sin que se produzcan reboses, y su ancho inicial debe ser igual al doble del diámetro de la canaleta debiendo tener la reducción a una longitud de dos veces el diámetro (ver figura 4).

-El diámetro mínimo del tubo de bajada del interceptor no será menor a 75 mm.

-La parte superior del interceptor deberá contar con un dispositivo de cierre automático una vez que el tanque de almacenamiento del interceptor se haya llenado con las primeras agua de lluvia.

-El fondo del tanque de almacenamiento del interceptor deberá contar con grifo o tapón para el drenaje del agua luego de concluida la lluvia.

-El interceptor contará con un dispositivo que debe cerrarse una vez que se hayan evacuado las primeras aguas de lluvia.

-Mantenimiento y limpieza de primer filtrado del agua, pasa por piedra caliza, tratamiento con sistema filtrado.

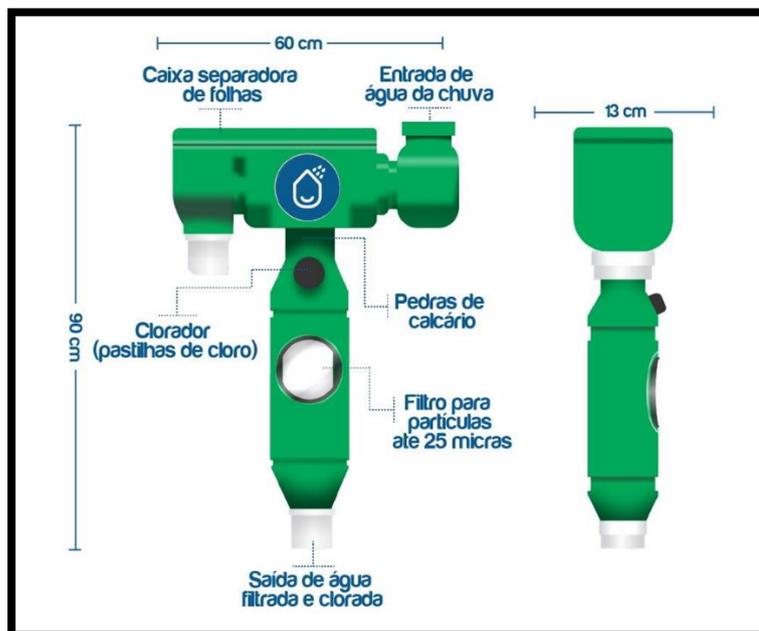


FIGURA N° 4: *Dispositivo interceptor de las primeras aguas.*  
Fuente: *Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia.* CEPIS, 2004.

#### d) Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones.
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.

-Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.



**FIGURA N° 5:** *Tanque de Almacenamiento de sistema flexible.*  
*Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.*

Los tipos cisternas o tanques donde se almacena el agua de lluvia captada, que puede utilizarse previo al tratamiento para uso doméstico durante todo el año.

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o tanques de almacenamiento pueden ser los siguientes:

**-Plásticos:** Fibra de vidrio, polietileno y PVC.

**-Metales:** Barril de acero (se corroe y oxida), tanques de acero galvanizado (se corroe y oxida).

**-Mortero de cemento – arena;** el mortero de cemento – arena se aplica sobre un molde de madera u otro material de forma preestablecida. Los modelos pequeños suelen variar entre 0.1 a 0.5 m<sup>3</sup> y los modelos más grandes pueden alcanzar alturas de 1.5 m y volúmenes de hasta 2.3 m<sup>3</sup>.

**-Concreto;** normalmente se construye vaciando concreto en moldes concéntricos de acero de un diámetro de 1.5 m, 0.1 m de espesor y 0.60 m de altura. Este tipo de tanque de almacenamiento puede alcanzar volúmenes de hasta 60m<sup>3</sup>.

### e) Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo

Esta red debe ir paralela a la red de acueducto, y debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades requeridas para abrevadero de animales, domésticos. Se debe tener presente que la tubería de succión de la bomba debe estar al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de material sedimentado.

## 2.8. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Adicional a los componentes mencionados, para desarrollar el diseño se debe tener la información pluviométrica de la zona, la cual debe ser de mínimo diez (10) años consecutivos, para tener mayor confiabilidad en el diseño. Adicionalmente, para un mejor análisis de la información se debe tener presente si durante el periodo contemplado se presentaron los fenómenos de El Niño y La Niña, pues dichos fenómenos intervienen directamente con la disponibilidad de agua lluvia, ya sea porque ésta se vuelva escasa o abundante (CEPIS, 2004).

Con los datos diarios obtenidos, se estiman los promedios mensuales de precipitación, de acuerdo con la ecuación 1:

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad (1).$$

Dónde:

$P_{pi}$  : precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes).

$N$  : número de años evaluados.

$P_i$  : valor de precipitación mensual del mes “i”, (mm)

## 2.9. MODELO DE CÁLCULOS

El desarrollo del diseño consta principalmente de la determinación de la demanda de agua, la oferta relacionada con la precipitación de la zona, el volumen de almacenamiento del agua lluvia, el interceptor de las aguas de lavado del techo, el filtro y la red de

distribución de las aguas lluvias. A continuación se presentan los modelos de cálculos para cada componente.

### 2.9.1. Demanda de agua en el MES “i” ( $D_i$ )

La demanda de agua se puede estimar de diferentes maneras, una de ellas, como la plantea el CEPIS, (2004), es la siguiente: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (2)$$

Dónde:

$D_i$  : demanda mensual (m<sup>3</sup>).

$Un$  : número de usuarios que se benefician del sistema (variable, según el mes, como se indicó anteriormente).

$Nd$  : número de días del mes analizado.

$Dot$  : dotación (L/persona/día).

### 2.9.2. Oferta de agua en el mes “i” ( $A_i$ )

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (3)$$

Dónde:

$A_i$  : oferta de agua en el mes “i” (m<sup>3</sup>)

$Ppi$  : precipitación promedio mensual (L/m<sup>2</sup>)

$Ce$  : coeficiente de escorrentía.

$Ac$  : área de captación (m<sup>2</sup>).

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua potable y de la oferta mensual de agua lluvia, se procede a calcular el

acumulado de cada uno de ellos mes a mes, encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses.

### 2.9.3. Demanda acumulada ( $D_{ai}$ )

Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i \quad (4)$$

Dónde:

$D_{ai}$  : demanda acumulada al mes “i” (m3).

$D_{a(i-1)}$  : demanda acumulada al mes anterior “i-1” (m3).

$D_i$  : demanda del mes “i” (m3)

### 2.9.4. Oferta acumulada ( $A_{ai}$ )

Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A'_i \quad (5)$$

Dónde:

$A_{ai}$  : oferta acumulada al mes “i” (m3).

$A_{a(i-1)}$ : oferta acumulada al mes anterior “i-1” (m3).

$A'_i$  : oferta del mes “i” teniendo en cuenta las pérdidas (m3).

### 2.9.5. Volumen de almacenamiento ( $V_i$ )

Para conocer el volumen necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, de ésta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda.

$$V_i = A_{ai} - D_{ai} \quad (6)$$

Dónde:

$V_i$  : volumen de almacenamiento del mes “i” (m3).

$A_{ai}$  : oferta acumulada al mes “i” (m3).

$D_{ai}$  : demanda acumulada al mes “i” (m3).

### 2.9.6. Interceptor de primeras aguas

Éste elemento permite recolectar las primeras aguas lluvias que caen y lavan el techo, por lo tanto es necesario desviarlas para no ser almacenadas en el tanque. Su diseño, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del CEPIS, (2004), establece que se requiere un litro de agua lluvia para lavar un metro cuadrado del techo, es decir que el volumen del tanque interceptor se calcula de la siguiente manera:

$$V_{int} = \left( 1 \frac{L}{m^2} * A_{techo} \right) / 1000 \quad (7)$$

Dónde:

$V_{int}$  : Volumen del interceptor (m3).

$A_{techo}$  : Área del techo a captar (m2).

### 2.9.7. Potencial de ahorro de agua potable

El potencial de ahorro de agua potable se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación: (Ghisi, Lapolli, & Martini, 2007).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (8)$$

Dónde:

PPWS : Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR ó Ai: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m3/mes)

PWD ó Di: Demanda mensual de agua potable (m3/mes).

Para ser coherentes con la metodología propuesta por el CEPIS, (2004) la cual contempla la acumulación del agua en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a su consumo, el potencial se debe determinar con los volúmenes acumulados, es decir, la oferta acumulada de agua lluvia posible de ser recolectada, sobre la demanda acumulada.

## **2.10. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SCALL.**

### **2.10.1. Operación.**

La operación de los sistemas SCALL es muy sencilla e individual primero el agua de lluvia cae sobre las áreas de captación guiando el agua captada a canaletas que recogen y conducen el agua hacia un sistema interceptor el cual elimina las primeras aguas con basura, sedimentos y materiales indeseables, el cual se cierra de forma manual o automática y envía el agua hacia un dispositivo de filtrado antes de entrar al dispositivo de almacenamiento.

A partir de este punto el sistema puede utilizar un sistema automático de bombeo el cual bombea el agua desde las cisternas de almacenamiento ubicadas en cada vivienda hacia el tanque de distribución, en el caso de que la cada vivienda cuente con varias cisternas a fin de poder suplir la demanda de agua durante el periodo de sequía, al vaciarse una de ellas, se debe instalar la bomba manual en la siguiente cisterna y continuar con este proceso hasta que se inicie la próxima temporada de lluvias y se recarguen nuevamente las cisternas. (Herrera, 2010).

El sistema de captación de agua de lluvia tiene una operación relativamente sencilla pero que es importante cuidar algunos puntos en particular para garantizar su adecuado funcionamiento.

### **2.10.2. Mantenimiento.**

Cada familia beneficiada con los sistemas SCALL, es la encargada de realizar las actividades necesarias para operar y mantener en buenas condiciones el sistema. Una de las principales ventajas de los sistemas es el poco mantenimiento que necesitan, sin embargo, es importante seguir los siguientes consejos a fin de mantener en buen estado del sistema asegurando su eficiencia:

Área de captación (techo) y canaletas:

- Controlar el buen estado y limpieza de estos sectores, sobre todo cuando se acerca el período de lluvias.

- Limpia el tanque y el tubo de entrada antes de la temporada de lluvias.

-La limpieza periódica de los tejados durante acontecimientos extendidos de lluvia mejora la calidad del agua.

-Es importante evitar en lo posible que en el área del techo no caigan hojas o excremento de las aves; en este caso es necesario limpiar las canaletas continuamente antes de canalizar el agua al tanque de almacenamiento.

### **Generales.**

-Asegurarse que los materiales utilizados en el sistema no contengan o desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad.

-En el caso de materiales de concreto se deben limpiar antes de impermeabilizar; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlos por otros antes de su impermeabilización. Además, se requiere asegurar y verificar que sus estructuras soporten el peso de las canaletas más el agua de lluvia.

Una vez al año al finalizar la época seca e inicio de las lluvias, limpiar el techo o área de captación, canaletas, bajantes y la parte superior del tanque de almacenamiento que también se utilizará como área de captación.

Una vez cada dos años al finalizar la época seca e inicio de las lluvias, cuando el nivel del tanque de almacenamiento se encuentra al mínimo, se deberá vaciar toda el agua y recolectarla en otros recipientes para su posterior uso, realizando acciones de limpieza como sigue:

- Limpiar las paredes y el fondo con una escoba suave.
- Usar agua limpia con un litro de cloro por cada 10 litros de agua.
- Esparcir la solución con la escoba.
- Esperar media hora.
- Enjuagar con agua limpia.
- Retirar toda el agua utilizada en la limpieza.

Como acciones de seguimiento a los sistemas SCALL instalados, se realizarán campañas de verificación de la calidad del agua almacenada, en caso que el usuario haya mantenido un adecuado uso y cuidado del sistema de captación y de los análisis de calidad del agua resultase que es de calidad adecuada, se podrá eliminar la actividad de limpieza interna del depósito en ese período.

## **2.11. DE LA CAPACITACIÓN A LOS USUARIOS BENEFICIADOS.**

Una vez concluida la instalación de los sistemas de captación, se deberá brindar una capacitación presencial a todos los usuarios beneficiados, seleccionando uno de los sistemas instalados como modelo de referencia, mostrando de manera física las acciones de limpieza, mantenimiento y operación de cada componente del sistema, para esta parte se deberá entregar previamente el manual en español y en los casos que aplique en una comunidad indígena, se deberá entregar adicional un manual en la lengua de la comunidad, de tal manera que se puedan seguir los pasos del manual y los usuarios puedan ligar lo mostrado en el manual impreso con actividades que realicen los capacitadores en el sistema que se haya elegido como sitio de capacitación (MIGLIO, R. 2009).

## **2.12. CALIDAD DEL AGUA**

El agua pura es un producto artificial, las aguas naturales siempre contienen materiales extraños en solución o en suspensión en proporciones muy variables. Estas sustancias pueden modificar considerablemente las propiedades, efectos y usos del agua. (MIGLIO, R. 2009, p.08).

Las características del agua que se hacen llamar de “buena calidad” son directamente dependientes del uso que se hará de ella, por ejemplo: un agua dura será de pobre calidad para la producción de vapor por las incrustaciones de sales que se producirán en las tuberías; un agua turbia será inaceptable para la fabricación de hielo. Pero en cambio será aceptable para usarla en la concentración de minerales. Para considerar agua potable, su ingestión no debe causar efectos nocivos a la salud; el agua contaminada puede transmitir diferentes enfermedades.

Existen normas nacionales e internacionales de calidad de agua potable, la mayoría de los países en desarrollo han adoptado las normas de OMS, las cuales incluyen criterios de calidad de agua en sus aspectos físico, químico y bacteriológico.

En términos generales el agua debe estar libre de organismos patógenos, de sustancias tóxicas y de exceso de minerales y material orgánico; para que sea agradable debe estar libre de color, turbiedad, sabor y olor; más aún su contenido de oxígeno debe ser suficiente, debiendo tener una temperatura adecuada.

### **2.13. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA.**

El agua no debe contener impurezas ofensivas a los sentidos de la vista, gusto u olfato; las características físicas a través de un examen incluyen turbidez, color, pH, sabor y olor y pueden incluir temperatura. (MIGLIO, R. 2009, p.08).

#### **-Turbidez.**

Es una medida de la resistencia del agua al paso de la luz; la turbidez es causada por la presencia de materia en suspensión generalmente arena fina, arcilla, tierra vegetal y materia coloidal. El valor de la turbidez se verifica mediante aparatos calibrados, ya sea el turbidímetro de Jackson o el de Hellige. Una unidad de turbidez a una suspensión de 1mg de sílice (S.O<sub>2</sub>) en un litro de agua. (MIGLIO, R. 2009, p.09).

#### **-Color.**

El color aunque tiene poca significación sanitaria es estéticamente indeseable, pues puede manchar materiales o afectar procesos industriales. El color en el agua es debido generalmente a la presencia de materia orgánica en suspensión coloidal. También de materia mineral en solución o en suspensión (sales de hierro o manganeso). Es común encontrar las siguientes coloraciones:

-Aguas pantanos Negros

-Aguas con compuestos de hierro Rojos

-Aguas con presencia de cobre Azul

El valor patrón del color se aprecia sobre agua filtrada (para que no haya encubrimiento debido a la turbidez) y se compara con una escala de patrones preparando con cloruro de platino y cobalto. El número que expresa el color es igual a los miligramos de platino que contiene un litro de la solución patrón, cuyo color es igual al agua examinada. (MIGLIO, R. 2009, p.09).

#### **--Olor y sabor.**

El agua debe ser inodora y de sabor agradable. La presencia de olores y sabores puede resultar de la combinación de varios factores, como presencia de microorganismos muertos o vivos, gases disueltos, etc.

Las aguas naturales generalmente no tienen ningún olor, excepto el que pueda ocasionarles eventualmente el fierro y el azufre o el crecimiento de ciertos organismos como algas u otros. (MIGLIO, R. 2009, p.09).

#### **-pH.**

El pH es el cologaritmo de la concentración de los hidrógenos ionizados en moles por litro, se determina utilizando aparatos de extremada sensibilidad como el potenciómetro.

### **2.14. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA.**

El agua no debe contener exceso de mineral soluble ni exceso de las sustancias químicas que se emplean para tratarlas. El agua no debe contener:

-Sustancias indeseables directamente relacionadas con la salud como el plomo, el arsénico (causa envenenamiento progresivo); el flúor (los fluoruros arriba de 1.5 mg/L provocan la aparición de manchas oscuras y picaduras en los dientes); cromo, selenio, cianuro, nitratos (arriba de 50mg/L pueden provocar alteraciones en la sangre en niños de corta edad).

-Sustancias que no conviene que se presenten en concentraciones mayores a las fijadas como límite: cobre, fierro, magnesio, zinc, cloruros (el exceso de cloruros – sal produce sabor desagradable – salado), sulfatos (el exceso de sulfatos actúa como laxante), compuestos fenol y sólidos totales. (OMS, 2000).

### **-Sustancias relacionados con el aspecto económico.**

-Las que causan dureza: un exceso de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio causan dureza en el agua; un agua dura es aquella que exige un alto consumo de jabón o con la cual no puede producirse espuma; modifica el cocimiento de las verduras dándoles un sabor especial; mancha; forma incrustaciones en tuberías. (OMS, 2000).

**Hay dos tipos de dureza:** la comunicada por carbonatos es la llamada dureza temporal, se pierde al hervir el agua pues las sales se precipitan; la comunicada por sulfatos, es la llamada dureza permanente, no se pierde con el hervido, se corrige con procedimientos químicos.

Desde el punto de vista sanitario la dureza del agua no presenta ningún peligro, lo perjudicial ocurre en el aspecto económico, pues las aguas duras descomponen el jabón y obligan a usarlo en mayor proporción para el lavado; igualmente producen incrustaciones en los calderos, siendo más peligrosas las producidas por sulfatos que muchas veces se descomponen dejando el ácido sulfúrico en libertad produciendo corrosiones.

- **Las que causan corrosión:** CO<sub>2</sub>, óxidos minerales y orgánicos (pH ácido); hidróxido y carbonatos (pH alcalino, aguas corrosivas para el cemento)
  - **El hierro:** colorea el agua y produce un sabor desagradable; mancha tejidos y aparatos sanitarios.
  - **Sulfatos.** Transforman las aguas en agresivas para el concreto.
- **Sustancias indicadores de polución orgánica.**
- **Nitrógeno:** como amoníaco, nitritos y nitratos la mayor o menor proporción de estos elementos, indica polución por materia orgánica y el grado de auto depuración alcanzado.
  - **Oxígeno:** un agua que consume gran proporción de oxígeno, tiene un alto contenido de materia y aprovecha este oxígeno en la nitrificación de la materia orgánica, para formar nitratos.
  - **Cloruros:** la presencia de cloruros indica posible polución por deyecciones humanas.

En la interpretación del análisis químico, en lo referente a sustancias directamente relacionadas a la salud hay que mantener un estricto control de las sustancias que son tóxicas y peligrosas para la salud de los consumidores.

Tabla 1: Requisitos físico químico para el agua potable.

CARACTERÍSTICAS	Max.	Max.	Observación
	Deseable	Admisible	
PH	7.5 - 8.5	6.5 - 9.2	Sabores Corrosión
Color	5 unidades (*)	50 Unidades	Coloración
Turbidez	5 unidades	25 Unidades	Posibles irritaciones gastro intestinal
Cloruros	200 ml/l	600 ml/l	Sabor
Sulfatos	200 ml/l	400 ml/l	Irritaciones gastro intestinal cuando hay magnesio
Dureza Total	100 ml/l	500 ml/l	Deposito excesivo de incrustaciones
Dureza de Calcio	75 ml/l	200 ml/l	Deposito excesivo de incrustaciones
Dureza de Magnesio	30 ml/l (**) 150 ml(***)	150 ml/l	Dureza, sabor irritaciones gastro intestinal
Magnesio	0.05 ml/l	0.5 ml/l	Sabor, Coloración, Turbidez, Depósitos en las Tuberías
Hierro	0.1 ml/l	1.0 ml/l	Proliferación de ferro bacterias
Fluoruros	1.5 ml/l	1.5 ml/l	Fluoresis
Nitratos	10 ml/l	45 ml/l	Formación de Bacterias Intestinales, Especialmente Niños

(\*) En la escala de platino – cobalto, (\*\*) si hay 250 ml/l de sulfato, (\*\*\*) si hay de 250 ml/l de sulfato

Fuente: MINSA

## 2.15. ASPECTOS DE IMPACTO AMBIENTAL

La EIA, (Evaluación de Impacto Ambiental), es un procedimiento jurídico – administrativo que tiene por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos. (MINEM, 1993).

Todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas autoridades competentes.

Siempre en toda construcción sobre el suelo, sucede una alteración del equilibrio ecológico de la zona, sobre todo en lo relacionado en la flora, es por esta razón que debe tratar de no alterar dicho equilibrio causado por la construcción de tanques de reservorio, en los sistemas de captación de agua de lluvia.

### **Matriz de Leopoldo.**

Es una metodología para la identificación y evaluación de los impactos ambientales que consiste en un Tabla de doble entrada – matriz en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones del proyecto que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos. (TEBBUT, T. 1990).

## **2.16. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **2.16.1. TÉRMINOS HIDRÁULICOS**

A continuación se presentarán los términos hidráulicos para estimar la potencia hidráulica de la bomba y extraer el agua almacenada. (VELAZQUEZ, 2012).

**-Espejo de agua.** Superficie en reposo del agua dentro de la cisterna, pozo o noria.

**-Nivel estático.** Profundidad a la que se ve el espejo de agua en estado estacionario (cuando no hay extracción de agua). Es la distancia que hay desde el nivel de la superficie al espejo del agua. Está representado por B y se mide en metros.

**-Nivel dinámico.** Profundidad a la que se ve el espejo de agua en el proceso de bombeo (durante la extracción). Es la distancia que hay desde el nivel de superficie al espejo de agua durante el proceso de bombeo, se mide en metros.

**-Nivel de descarga.** Altura a la que hay que llevar el agua. Distancia que hay desde la superficie hasta el borde superior del tanque de almacenamiento. Está representado por A y se mide en metros.

**-Profundidad de abatimiento.** Diferencia de distancia entre el nivel estático y el dinámico. Está representado por C, se mide en metros, m. (ver figura).



FIGURA N° 6: Diagrama de bombeo de agua almacenada – 2017.

*Fuente: Manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento de aguas de lluvia*

**-Altura de fricción.** Distancia adicional que hay que agregar debido a la fuerza de fricción que oponen las paredes de la tubería, conexiones y válvulas, para el flujo de agua.

**-Profundidad de succión.** Es la distancia que hay desde el centro de una bomba superficial al espejo de agua, se mide en metros, m.

Los parámetros hidráulicos referidos a los términos anteriores están basados en el concepto físico asociado al trabajo que se tiene que realizar, para un volumen de agua determinado a cierta altura, en contra de la fuerza de atracción gravitacional. En hidráulica, a la fuerza que hay que realizar para efectuar este trabajo, se le llama carga hidráulica.

**-Carga estática.** Es la distancia a la que hay que llevar el agua desde el nivel estático hasta el nivel de descarga (A+B).

**-Carga dinámica o de fricción.** Carga adicional que aparece cuando el agua se desplaza dentro de la tubería, en toda su longitud, a un gasto dado, se simboliza por CF, también se mide en metros, m. Su cuantificación depende de factores físicos como el tipo de tubería, longitud y el gasto que circula por ella.

**-Carga dinámica total.** Es la carga hidráulica total en el proceso de bombeo, se simboliza por CDT.

$$CDT = (A + B) + CF$$

**-Potencia hidráulica (PH).** Es la fuerza que debe tener la bomba para realizar dicho trabajo, en watts y está dada por la expresión:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ watts}$$

$$PH = 9.8 Q \cdot CDT$$

**Donde,** 9.8 es la aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$ , Q el gasto o caudal,  $\text{m}^3/\text{s}$ .

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación y extensión del área de estudio

###### Ubicación Política:

Políticamente el área de estudio está ubicado en:

Región	:	Puno
Provincia	:	El Collao
Distrito	:	Ilave
Comunidad	:	Pucajrani Tiracollo



FIGURA N° 7: Macro Localización del Proyecto

Fuente: Elaboración Propio

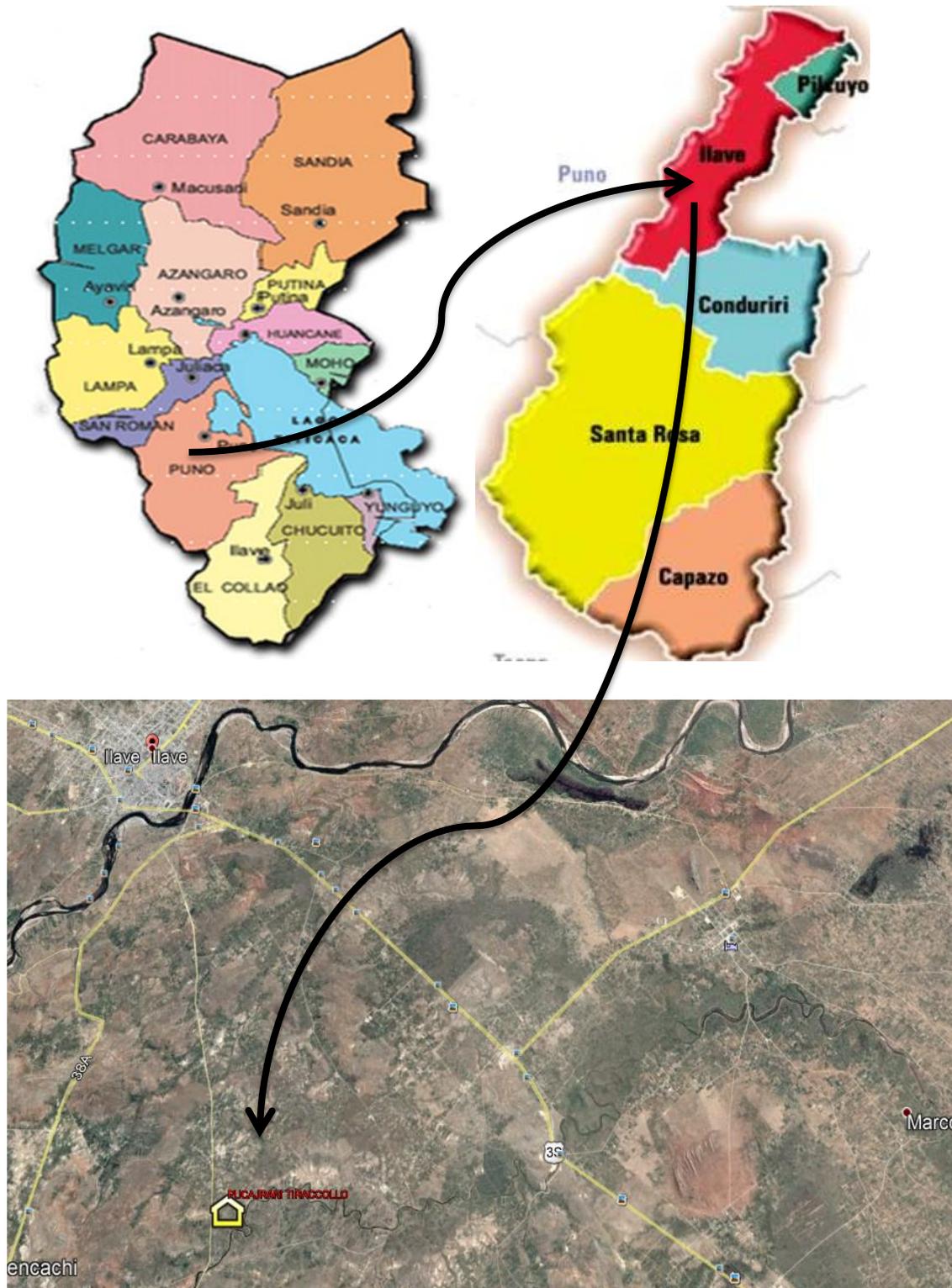


FIGURA N° 8: *Micro Localización del Proyecto*

### Ubicación Geográfica

Geográficamente la comunidad de Pucajrani Tiracollo del Distrito de Ilave, provincia del “El Collao”, Región de Puno, se encuentra ubicado en la meseta del altiplano peruano a las orillas del río Zapatilla, entre las coordenadas siguientes:

Altitud : 3880 m.s.n.m.

Este : 433720.25

Norte : 8214171.35

### Ubicación Hidrográfica

Vertiente : Pacífico.

Hoya hidrográfica : Lago Titicaca.

Cuenca : Río Zapatilla.

Sub cuenca : Pucajrani Tiracollo.

### Vías de acceso al área de estudio

La principal vía de acceso a la zona de estudio es por la carretera panamericana Puno – Ilave, posteriormente por la carretera Ilave – Pucajrani Tiracollo, es la única vía que existe para acceder a la zona de estudio, los cuales se ilustra en el siguiente Tabla.

*Tabla 2: Vías de acceso a la comunidad de Pucajrani Tiracollo*

TRAMO	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Min)	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
Puno - llave	54	45	Asfaltada	Puno - llave
llave - Pucajrani Tiracollo	10	15	Asfaltada	llave - Pucajrani Tiracollo
Pucajrani Tiracollo - Vivienda Rural	1	5	Trocha Afirmada	Camino a las Viviendas

*Fuente: Elaboración Propio*

### 3.2. DIAGNÓSTICO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO EN LA COMUNIDAD DE PUCAJRANI TIRACOLLO.

#### 3.2.1. Servicio de saneamiento.

##### a) Agua potable en el área de estudio.

El área de estudio es de una cantidad de 82 viviendas, 01 Institución Educativa Inicial y 01 Iglesia Católica, los cuales no cuenta con el servicio de agua potable para consumo humano, solo se abastecen de pozos artesanales.

La comunidad de Pucajrani Tiracollo, consume agua sin potabilizar; porque el agua lo extrae directamente de los acuíferos, ríos y riachuelos que discurren por las comunidades, estas aguas están contaminadas y hay que mencionar que de esas mismas fuentes el ganado bebe el agua. Uno de los problemas urgentes que se requiere solucionar es la falta de sistemas de agua potable para esta población que no cuenta con este servicio.

*Tabla 3: Abastecimiento de agua potable en el área de estudio.*

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA VIVIENDA	TIPO DE ÁREA		TOTAL
	URBANO	RURAL	
<b>Pilón (agua tratada)</b>	-	-	-
<b>Pozo rústico</b>	-	78	78
<b>Pozo Vecino</b>	-	3	3
<b>Total</b>	-	<b>82</b>	<b>82</b>

*Fuente: Censos Nacionales XI Población y VI de Vivienda 2007.*

**b) Sistema de Alcantarillado en el Área de Estudio**

En el área de estudio las viviendas rurales, no cuentan con el servicio de baños, lo cual es necesario para una mejor calidad de vida del poblador rural.

**c) Vivienda**

Las viviendas de la comunidad de Pucajrani Tiracollo se caracterizan por ser de material rustico (material de adobe o tierra), lo mismo en el tipo de piso de las viviendas. En su mayoría las familias cuentan entre 1 a 5 habitaciones aproximadamente, y sus condiciones de habitabilidad no permiten un ambiente saludable.

En su mayoría se tienen viviendas de antigüedad promedio entre 20 - 30 años.

*Tabla 4: Aspectos de las viviendas en el área de estudio.*

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN PREDOMINANTE EN LAS PAREDES	TIPO DE ÁREA		TOTAL
	URBANO	RURAL	
<b>Ladrillo o bloqueta de cemento</b>	-	22	22
<b>Adobe</b>	-	59	59
<b>Piedra</b>	-	1	1
<b>Total</b>	-	82	82
<b>NSA:</b>		<b>29</b>	

*Fuente: Censos Nacionales XI Población y VI de Vivienda 2007.*

**3.2.2. Aspectos socioeconómicos de la población.****Capital Humano.****a) Población referencial.**

Está constituida por la población de todo el distrito de Ilave y para realizar la tasa de crecimiento Provincial inter censal es de 0.34%.

Tabla 5. Población total, por área urbana y rural, según sexo del departamento y provincia.

DEPARTAMENTO Y PROVINCIA	TOTAL	POBLACION		TOTAL	URBANA		TOTAL	RURAL	
		H	M		H	M		H	M
Dpto. Puno	1,268,441	633,332	635,109	629891	313,663	316,228	638550	319,669	318,881
Prov. El Collao	81059	41,148	39,911	12349	13,04	12,336	55683	28,108	27,575

Fuente: INEI. XI de población y VI de vivienda – Censos 2007.

### b) Población objetivo

Está constituido por la población del área de influencia del proyecto es decir la población de la comunidad de Pucajrani Tiracollo, del distrito de Ilave, para realizar la estimación de la proyección se utiliza la tasa de crecimiento intercensal Provincial de 0.34%, Por otro lado se estima el promedio de personas que conforman es 5 habitantes/familia, los resultados se muestran en la Tabla siguiente:

Tabla 6: Población objetivo del proyecto

SEGÚN SEXO	TIPO DE AREA		TOTAL
	URBANO	RURAL	
<b>Hombre</b>	-	106	106
<b>Mujer</b>	-	103	103
<b>Total</b>	-	<b>209</b>	<b>209</b>

Fuente: Censos Nacionales XI Población y VI de Vivienda 2007.

### c) Población económicamente activa en el área de estudio.

La población de PEA según la información del INEI, se tiene 138 personas mayores de 14 años de edad pertenecen a la Población Económicamente Activa – PEA, y 48 habitantes pertenecen a la PEA desocupada, los resultados se muestran en el siguiente Tabla.

Tabla 7: Evolución de la población económicamente activa.

ACTIVIDAD ECONÓMICA DE LA POBLACIÓN	TIPO DE ÁREA		TOTAL
	URBANO	RURAL	
<b>PEA Ocupada</b>	-	106	106
<b>No PEA</b>	-	103	103
Total	-	<b>209</b>	<b>209</b>
<b>NSA:</b>	<b>23</b>		

Fuente: Censos Nacionales XI Población y VI de Vivienda 2007

Según la información obtenida por el Plan de desarrollo Concertado al 2021, del Gobierno Regional de Puno. El ingreso familiar per cápita mensual asciende a 231.40 nuevos soles a nivel de la provincia de El Collao.

La distribución de la población Económicamente Activa a nivel del distrito, según rama de actividad económica, se muestra en el siguiente Tabla.

Tabla 8: Población económicamente activa por grupos de edad del distrito de Ilave, según ramas de actividad.

RAMAS DE ACTIVIDAD ECONOMICA	TOTAL	GRANDES GRUPOS DE EDAD				
		6 A 14 AÑOS	15 A 29 AÑOS	30 A 44 AÑOS	45 A 64 AÑOS	65 Y MAS AÑOS
Agric. Ganadería, caza y silvicultura	3665	47	706	855	1242	815
Pesca	112	-	36	41	34	1
Industrias manufactureras	84	-	39	23	11	11
Construcción	67	-	23	17	23	4
Comerc. rep. Veh. Autom., Efecto. Pers.	305	3	102	107	82	11
Venta, mant. y rep. Veh. Automóv. y motoc.	22	-	14	5	2	1
Comercio al por mayor	5	-	1	4	-	-
Comercio al por menor	278	3	87	98	80	10
Hoteles y restaurantes	15	-	2	8	5	-
Trans., almac. Y comunicaciones	61	1	18	32	9	1
Actividad inmovil., empresa; y alquileres	12	-	9	2	1	-
Admin...pub., y defensa; p. seguridad social	58	-	20	21	17	-
Enseñanza	154	-	23	59	69	3
Servicios sociales y de salud	25	-	8	7	10	-
Otras activ. Serv. Comun. Soc y personales	6	1	-	2	3	-
Hogares privados con servicio doméstico	14	-	8	5	-	1
Actividad económica no especificada	159	-	33	34	46	46
Desocupado	282	1	139	70	48	24
<b>Total</b>	<b>5324</b>	<b>56</b>	<b>1268</b>	<b>1390</b>	<b>1682</b>	<b>928</b>

Fuente: INEI. XI de población y VI de vivienda – Censos 2007.

**d) Migraciones.**

En el altiplano puneño es característico el fuerte progreso migratorio de la población rural hacia los centros y pueblos de mayor desarrollo relativo, como son: Moquegua, Tacna, Arequipa, Cusco y Juliaca.

El progreso migratorio tiene su origen en la escasa tenencia y propiedad de los recursos productivos, en el uso inadecuado de la fuerza de trabajo y la tecnología, los exiguos ingresos per cápita y la baja producción y productividad anual.

La migración es mayor en los pobladores de sector rural en el grupo de edades de 20 a 29 años, principalmente en el sexo masculino (15.2%), este indicador muestra que el campesino incentivado en futuras mejoras económicas, tiende a movilizarse a diferentes regiones y centros urbanos, originando diversas corrientes migratorias que en su mayor parte son de carácter temporal y se realizan en las épocas posteriores a los periodos de siembra y cosecha.

**e) Servicios de educación en el área de estudio.**

Los servicios educativos que brindan son públicos, las mismas que son facilitados por el ministerio de educación, la cobertura educativa alcanza a mayoría de los centros poblados, comunidades y parcialidades, las instituciones educativas iniciales, primarias en algunos de ellos, en caso de secundario está concentrado en la capital de la provincia.

Un aspecto fundamental en el tema de educación es el analfabetismo de la población, que en datos representa 43 personas que no saben leer y escribir, y 156 personas saben leer y escribir.

*Tabla 9: Evolución de la población económicamente activa*

QUE SABE LEER Y ESCRIBIR	TIPO DE AREA		TOTAL
	URBANO	RURAL	
<b>Si</b>	-	156	156
<b>No</b>	-	43	43
Total	-	<b>199</b>	<b>199</b>
<b>NSA:</b>	<b>10</b>		

*Fuente: Censos Nacionales XI Población y VI de Vivienda 2007.*

Según resultado, en el Distrito de Ilave, en zonas rurales el 42.05% de la población total es analfabeta, de los cuales el 28.71 % corresponden a mujeres y el 13.34 % a hombres.

*Tabla 10: Población de 3 años a mas, distrito de Ilave (rural) según sexo y condición de alfabetismo.*

Nivel de analfabetismo	Hombres	%	Mujeres	%	TOTAL
<b>Sabe leer y escribir</b>	13350	86.66	10822	71.29	<b>24172</b>
<b>No sabe leer y escribir</b>	2055	13.34	4359	28.71	<b>6414</b>
<b>TOTAL</b>	<b>15405</b>	<b>100</b>	<b>15181</b>	<b>100</b>	<b>30586</b>

*Fuente: INEI. XI de población y VI de vivienda – Censos 2007.*

### 3.2.3. Social e institucional

#### a) Organización Comunal.

La comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo es una organización social y económica integrada por 82 familias que representan 410 habitantes con una densidad poblacional de 5.00 hab/fam/vivienda.

De la misma forma se indica que la comunidad de Pucajrani Tiracollo cuenta con un Centro Educativo Inicial y una Iglesia Católica.

#### b) Organización de productores.

El proceso productivo en el ámbito del área de estudio de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, particularmente referido a la actividad agropecuaria se organiza de dos maneras; a nivel de la organización comunal (comités agropecuarios) y familia campesina.

#### c) Organización familiar parcelaria.

Este tipo de organización de producción es la que tiene mayor vigencia en la comunidad de Pucajrani Tiracollo del distrito de Ilave. La familia campesina tiene como objetivo principal satisfacer sus necesidades de consumo, adicionalmente requiere cubrir gastos en educación, salud, vivienda, vestido, etc.

**d) Energía eléctrica.**

La comunidad de Pucajrani Tiracollo se dota del servicio de electrificación, sin embargo no toda la población se beneficia de este servicio algunos se dotan del servicio mediante paneles solares, mientras que otros aun no cuentan con el servicio de energía eléctrica.

**3.2.4. Los recursos naturales****a) Suelo.**

La parcelación es a menudo una necesidad a la vez para diversificar los cultivos y utilizar la variabilidad climática vertical, y para permitir una rotación de los cultivos, indispensable al mantenimiento de una buena calidad, en un contexto de escasez de la tierra. Tampoco el relieve del terreno permite a veces cultivar grandes parcelas.

La fragmentación de una propiedad agrícola significa también un freno para la mecanización, la gestión del riego y el mejoramiento de la rentabilidad.

Las tierras y suelos del distrito de Ilave se encuentran parceladas, en donde existe una creciente parcelación de tierras por el constante crecimiento demográfico, trayendo como consecuencia la reducción de las áreas de cultivo por familias.

*Tabla 11: Capacidad de uso del recurso suelo en el distrito de Ilave.*

Provincial Distrital	N° DE PRODUC TORES ESTIMAD OS	TOTAL	AREAS AGRICOLAS			%	Superfici e con pastos naturales	%	Superfici e Forestal	%	Superfici e con otras Tierras	%	Superfici e Total	Altitud
			Superfici e con Cultivos	%	e en descans o									
ILAVE	16210	29540	12390	59	17150	88	43560	14	190	4	18067	9	91357	3,847
PILCUYO	8540	10740	8530	41	2210	11	5170	2	10	1	110	0,5	16030	3,836
CONDURIRI	1420	60	40	0,1	20	1	47820	15	710	12	47747	24	96337	3,950
MAZOCRUS	1650	0	0	0	0	0	171900	55	4390	82	76112	38	252402	4,026
CAPASO	405	0	0	0	0	0	44640	14	10	1	59275	29	103925	4,400
<b>TOTAL PROVINCIAS</b>	<b>28225</b>	<b>40340</b>	<b>20960</b>	<b>100</b>	<b>19380</b>	<b>100</b>	<b>313090</b>	<b>100</b>	<b>5310</b>	<b>100</b>	<b>201311</b>	<b>100</b>	<b>560051</b>	

*Fuente: Dirección Agraria Puno – Agencia Agraria El Collao.*

**b) Actividad agrícola.**

Los cultivos predominantes son las variedades de papa, “dulce – amargas”, habas, quinua, trigo, cebada, avena entre otros. Los pastos naturales son muy

importantes para la crianza de ganado y son los siguientes; alfalfa, crespillo y grama salada. Además se tiene otras especies con potenciales medicinales como: mostaza, layo, entre los más principales.

Tabla 12: Producción agrícola en el distrito de Ilave en t.m. y has (2002-2005)

PRODUCTOS	2002				2003				2004				2005			
	Has	%	TM	%	Has	%	TM	%	Has	%	TM	%	Has	%	TM	%
Papa dulce	469	21	2448	33	599	29	1685	46	730	25	764	36	511	19	1685	11
Papa amarga	429	19	2413	32	365	17	1260	34	260	9	29	1	182	9	360	2.4
Quinua	524	23	96	1.5	402	19	88	2	280	10	79	4	265	10	168	1.1
Cabada Grano	615	27	285	4	510	24	280	8	695	24	141	8	710	27	462	3
Avena grano	83	4	40	0.5	70	3	56	2	90	3	22	1	50	2	26	0.5
Cebada Forraje	48	2	816	11	60	3	105	3	690	24	864	41	720	27	9300	60
Avena forraje	80	4	1376	18	95	5	180	5	165	5	188	9	165	6	3300	22
<b>TOTAL</b>	<b>2248</b>	<b>100</b>	<b>7474</b>	<b>100</b>	<b>2101</b>	<b>100</b>	<b>3654</b>	<b>100</b>	<b>2910</b>	<b>100</b>	<b>2087</b>	<b>100</b>	<b>2603</b>	<b>100</b>	<b>15301</b>	<b>100</b>

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentaria, Oficina de Estadística – Agencia Agraria – Ilave.

### 3.3. METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.

Para el aspecto técnico de la propuesta, se considera importante el siguiente procedimiento:

#### 3.3.1. Materiales y equipos

Fue necesario el uso de materiales y equipos siguientes:

##### Materiales de Gabinete:

- Equipo de cómputo e impresión
- Equipo de dibujo
- Útiles de escritorio (papel bond de 80 grs. Cuadernos, lapiceros, lápices, plumones y otros.)

##### Equipos de Campo:

- Pluviómetro
- Termómetro
- Gps
- Wincha de 50m

- Libreta de campo
- Estacas de madera
- Cámara fotográfica
- Carta nacional

### 3.3.2. Información básica

#### 3.3.2.1. Información meteorológica.

La información recolectada de precipitación para la comunidad en estudio, fue obtenida de la Estación meteorología de Ilave, información brindada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI – Puno. Datos de precipitación Diaria analizados corresponden a los años 2000 hasta 2014, periodo recomendado como mínimo de 10 a 15 años, según el CEPIS, (2004), para realizar el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, como se muestra en la tabla 13 y anexo.

*Tabla 13: Estación meteorológica.*

CODIGO N°	ESTACION /CONTROL	TIPO	ALTITUD (m.s.n.m.)	COORDENADAS		DIST.	PROP.
				LONGITUD	LATITUD		
110879	ILAVE	CO	3,880.00	69°38'42"	16°05'17.7"	ILAVE	SENAMHI

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 14: Resumen de parámetros Meteorológicos de la Estación Ilave (2000-2014)

MESES	Precipitación (mm)	VARIABLES Temperatura (°)	Humedad relativa (%)
<b>ENERO</b>	189.09	9.7	67.3
<b>FEBRERO</b>	140.98	9.3	38.4
<b>MARZO</b>	120.16	9.4	67.1
<b>ABRIL</b>	37.83	9	59.8
<b>MAYO</b>	10.25	7.1	49.9
<b>JUNIO</b>	3.49	5.4	46.4
<b>JULIO</b>	8.98	5.2	45.9
<b>AGOSTO</b>	10.67	6.3	48.3
<b>SETIEMBRE</b>	26.08	7.8	48.7
<b>OCTUBRE</b>	36.13	9	46.9
<b>NOVIEMBRE</b>	30.11	9.7	48.9
<b>DICIEMBRE</b>	113.48	9.9	56.5
<b>PROMEDIO</b>	60,6	8.15	54.51
<b>TOTAL</b>	<b>727.25</b>		

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LAS COBERTURAS DE TECHOS DE LAS VIVIENDAS RURALES

Se ha aplicado la técnica de estudio de campo, porque se ha realizado la observación en contacto directo con el objeto de estudio, es decir los techos de las viviendas, así como se ha efectuado el acopio del testimonio del Presidente de la población respecto a la cantidad de habitantes que conforman la comunidad de Pucajrani Tiracollo.

### 3.5. METODOLOGÍA DEL ASPECTO TÉCNICO.

Como proceso metodológico del aspecto técnico fue necesario también partir de la realización del diagnóstico del ámbito de estudio; así mismo cálculos de la oferta y demanda de agua para consumo humano, para tomar en cuenta criterios para el diseño de sistemas de captación del agua de lluvia.

Para ello debe considerarse lo siguiente:

- a) Localización del sitio para establecer el sistema de captación de agua de Lluvia.
  - b) Determinación de la demanda de agua por familia o por la comunidad.
  - c) Cálculo de la precipitación pluvial neta.
  - d) Área de captación del agua de lluvia.
  - e) Diseño del sistema de conducción del agua captada.
  - f) Diseño del volumen del sedimentador por trampa de sólidos.
  - g) Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada.
  - h) Diseño para el bombeo del agua almacenada para el consumo.
  - i) Diseño del sistema del tratamiento y/o purificación del agua de lluvia.
- a) Localización del sitio para establecer el sistema de captación de agua de Lluvia.**

La localización del sistema se realiza considerando la recopilación de información general, medio ambiente, identificación de impactos ambientales y programas de mitigación del predio.

**b) Determinación de la demanda de agua por familia o por la comunidad.**

La demanda o dotación por persona, es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo. Además, considera el número de habitantes a beneficiar.

*Tabla 15: Dotación por Región*

Región	Dotación L/Hab/Día
<b>Selva</b>	70
<b>Costa</b>	60
<b>Sierra</b>	50

Fuente: Ministerio de Salud.

Tabla 16: Cantidad de Agua que necesitamos.

USO	CONSUMO (lt/hab/día)
<b>BEBIDA</b>	5
<b>SERVICIO DE SANEAMIENTO</b>	20
<b>HIGIENE</b>	15
<b>PREPARACIÓN DE ALIMENTOS</b>	10
<b>TOTAL L/HAB/DIA</b>	<b>50</b>

Fuente: Ministerio de Salud 1984 Roger Agüero Pittman. (OMS).

La expresión matemática para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

**Donde:**

- $D_j$  = Demanda de agua en el mes j, m<sup>3</sup>/mes /población.
- $Nu$  = Número de beneficiarios del sistema.
- $Dot$  = Dotación, en l/persona/día.
- $Ndj$  = Número de días del mes.
- $D_{anual}$  = Demanda de agua para la población.
- $j$  = Número del mes (j=1,2,3,...12)
- 1000 = Factor de conversión en litros en m<sup>3</sup>

### c) Cálculo de la precipitación pluvial neta.

A partir de la información disponible de precipitación, se determina la Precipitación Neta, que se define como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema (SCALL), una vez habiendo descontado las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota; considerados en un coeficiente de captación que se ha planteado del 85% (0.85) de acuerdo con la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP. La

eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, el cual varía de 0.1 a 0.9.

Tabla 17: Coeficientes de escurrimiento ( $C_e$ ) de los diferentes materiales en el área de captación.

TIPOS DE CAPTACION	$C_e$
Cubiertas superficiales	
<b>Concreto</b>	0.6 - 0.8
<b>Pavimento</b>	0.5 - 0.6
<b>Geomembrana de PVC</b>	0.85 - 0.90
Azotea	
<b>Azulejo, teja, calamina galvanizada</b>	0.8 - 0.9
<b>Hojas de metal acanaladas</b>	0.7 - 0.9
<b>Organicos (hojas con barro)</b>	< 0.2
Captacion en Tierra	
<b>Suelo con pendientes menores al 10%</b>	0.0 - 0.3
<b>Superficies naturales rocosas</b>	0.2 - 0.5

Fuente: Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural (UNATSABAR) 2003.

Fórmula para estimar la precipitación neta:

$$PN_{ijk} = P_{ijk} * \eta_{captación} \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

Donde:

$PN_{ijk}$  = Precipitación neta del día i, mes j y año k, mm.

$P_{ijk}$  = Precipitación Total del día i, mes j y año k, mm.

$\eta_{captación}$  = Eficiencia de captación del agua de lluvia, 0.80

Cuando las precipitaciones medias mensuales sean menores de 50 mm y de baja intensidad (mm/hr), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será de consideración para su almacenamiento.

### Consideraciones para la realización de los cálculos

La información más útil que el técnico puede usar en el cálculo del área de captación del agua de lluvia es que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtendrá un litro de agua. No obstante, existen coeficientes de ponderación que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas por el rebote del agua al caer, la absorción, evaporación del agua y la pendiente de las superficies. En este apartado se les han asignado valores a dichos coeficientes, pero dado que su influencia depende de las condiciones de cada lugar en particular, los valores pueden ser modificados a criterio del técnico según los estudios previos y experiencias con que cuente.

En la siguiente Tabla se muestra un análisis del volumen del agua de lluvia captado en litros, con relación al área de captación y precipitación pluvial promedio. Se han hecho algunas consideraciones para su utilización, tomando en cuenta precipitaciones pluviales promedio de 1, 10, 100, Y 1,000 mm y áreas de captación de 1 hasta 10,000 m<sup>2</sup> en múltiplos de 50 m<sup>2</sup>.

De esta forma, se puede obtener el volumen del agua de lluvia a captar para cualquier condición, mediante las sumas correspondientes a las intersecciones de precipitación contra el área de captación. Si por ejemplo, se tiene una área de captación de 1 m<sup>2</sup> y se cuenta con una precipitación de 110 mm, el volumen de agua captado es de 110 l, que se obtiene de sumar el valor correspondiente a las intersecciones de la hilera del área de captación correspondiente a 1 m<sup>2</sup> con la precipitación de 10 mm (10 l) más la de 100 mm (100 l).

Tabla 18: Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.

Área de captación (m <sup>2</sup> )	Precipitación pluvial promedio (mm)					
	1	10	100	1000	2000	3000
	<b>Volumen captado en Litros</b>					
1m <sup>2</sup>	1	10	100	1000	2000	3000
10 m <sup>2</sup>	10	100	1000	10000	20000	30000
50 m <sup>2</sup>	50	500	5000	50000	100000	150000
100 m <sup>2</sup>	100	1000	10000	100000	200000	300000
150 m <sup>2</sup>	150	1500	15000	150000	300000	450000
200 m <sup>2</sup>	200	2000	20000	200000	400000	600000
250 m <sup>2</sup>	250	2500	25000	250000	500000	750000
300 m <sup>2</sup>	300	3000	30000	300000	600000	900000
350 m <sup>2</sup>	350	3500	35000	350000	700000	1050000
400 m <sup>2</sup>	400	4000	40000	400000	800000	1200000
450 m <sup>2</sup>	450	4500	45000	450000	900000	1350000
500 m <sup>2</sup>	500	5000	50000	500000	1000000	1500000
550 m <sup>2</sup>	550	5500	55000	550000	1100000	1650000
600 m <sup>2</sup>	600	6000	60000	600000	1200000	1800000
650 m <sup>2</sup>	650	6500	65000	650000	1300000	1950000
700 m <sup>2</sup>	700	7000	70000	700000	1400000	2100000
750 m <sup>2</sup>	750	7500	75000	750000	1500000	2250000
800 m <sup>2</sup>	800	8000	80000	800000	1600000	2400000

Fuente: Elaboración propio.

**d) Área de captación del agua de lluvia.**

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la ecuación: (en vista de planta).

$$A = a * b$$

Donde:

$A$  = Área de captación, m<sup>2</sup>

$a$  = Ancho de la casa, m

$b$  = Largo de la casa, m

En caso de que no exista el área de captación del sistema de captación de agua de lluvia, se diseñara en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial neta anual.

$$Aec = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} PN_j} \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

$$j = N^{\circ} \text{ del mes con lluvia,} \quad j=1, \dots, \dots, 12$$

Donde:

$Aec$  = Área de captación necesaria para abastecer la demanda de agua a una familia o comunidad, en  $m^2$

$D_{anual}$  = demanda de agua anual que necesita una población.

$\sum_{j=1}^{12} PN_{anual}$  = Suma de las precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento en mm.

#### e) **Diseño del sistema de conducción del agua de lluvia captada.**

El agua pluvial captada en techos y áreas de escurrimiento debe ser conducida al sistema de almacenamiento, mediante canaletas de lámina galvanizada y tubería de PVC. Cuando la pendiente es mayor al 10% y se trata de laderas colectoras del agua de lluvia, es necesario contar con un dispositivo hidráulico o un sedimentador para reducir la velocidad del agua y al mismo tiempo sedimentar los sólidos en suspensión contenidos en el escurrimiento del agua del área de captación.

La vivienda ya cuenta con canaletas y bajantes en PVC de 2", que recolectan y conducen el agua lluvia por todos los techos hacia el suelo, por lo tanto para éste diseño no se tendrá en cuenta la instalación de nuevas canaletas, pero sí se complementarán los bajantes para conducirlos hacia el interceptor de primeras aguas y posteriormente al tanque de almacenamiento.

El caudal de conducción en la tubería se obtiene con la siguiente expresión:

$$Q_c = \frac{5}{18} (Aec * Illuvia) \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

El diámetro se determina despejando el área de la ecuación de continuidad (Sotelo, 2005).

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Q_c}{\pi v}} \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

Otra opción para determinar el diámetro es considerar las pérdidas de carga con las deducciones de Swamee y Jain, 1976, para flujos en tuberías, como sigue:

$$D = 0.66 \left[ e^{1.25 \left( \frac{L Q_c^2}{g h_L} \right)^{4.75}} + v Q_c^{9.4} \left( \frac{L}{g h_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

Con la Fórmula de Darcy - Weisbach, se obtiene la pérdida por fricción de un tubo.

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2 g} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

Donde:

$Q_c$  = Caudal de conducción, lps.

$5/8$  = Factor de conversión de  $m^3h^{-1}$

$A_{ec}$  = Es el área efectiva de captación del agua de lluvia,  $m^2$

$I_{lluvia}$  = Es la intensidad máxima de lluvia en la zona,  $0.05 \text{ mh}^{-1}$

$D$  = Diametro de tubería, m.

$L$  = Longitud de tubo, m.

$h_L$  = Perdida por fricción, m.

$f$  = Es el factor de fricción, adimensional.

$g$  = Aceleración de la gravedad,  $m \text{ s}^2$

$v$  = Velocidad media,  $ms^{-1}$

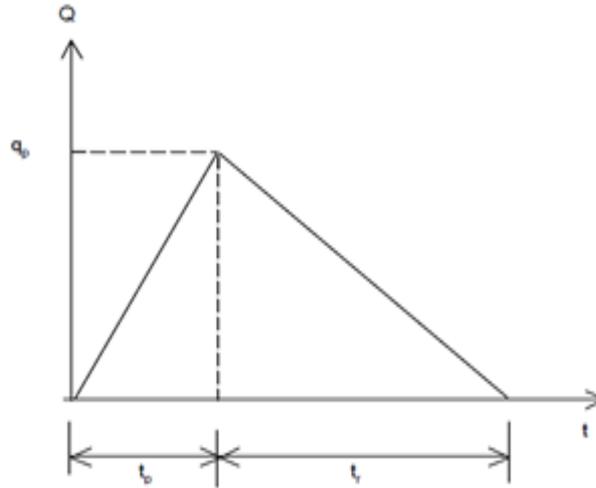
$\pi$  = 3.1416

### **Colección y conducción de agua de lluvia.**

Las canaletas son accesorios para colectar y conducir los escurrimientos pluviales a un sistema de almacenamiento, sus dimensiones están en función de la duración de la precipitación (cortas y homogéneas), tiempo de concentración del agua, la longitud del área de paso y de su pendiente.

En un área de captación el tiempo de concentración es un parámetro fundamental en el estudio hidrológico de una cuenca y áreas de escurrimiento con

pendiente, está descrita por expresiones matemáticas, que basándose en características físicas del área de captación o de la cuenca proporcionan un hidrograma resultante.



Hidrograma triangular: caudal máximo ( $Q_p$ ), tiempo de concentración del caudal máximo ( $t_b$ ), y el tiempo en que se produce el caudal máximo ( $t_p$ ).

$$t_{base} = t_p + t_0 \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

Donde:

- $t_{base}$  = Tiempo de concentración del hidrograma, h.
- $t_p$  = Tiempo en que produce el caudal máximo, h.
- $t_0$  = Tiempo de concentración, min.

La secuencia para determinar el caudal máximo de una tormenta es la siguiente:

- a) **Calcular el tiempo de concentración ( $t_c$ ) mediante la fórmula de Kirpich:**

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

Dónde:

$S$  = es la pendiente media,  $L$  es la longitud del área de captación en m y  $t_c$  resulta en h.

- b) **Tiempo ( $T_p$ ) en que se alcanza el máximo escurrimiento en la cuenca o área de captación,** se estima mediante la expresión:

$$t_p = 0.5D + 0.6t_c \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Dónde:

$D$  = Duración de la precipitación efectiva, h

Cuando no se conoce la duración de la precipitación máxima diaria se utiliza la ecuación:

$$t_p = 2\sqrt{t_c} + 0.6t_c \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

- c) **Tiempo de concentración del caudal máximo ( $t_b$ )**. Se calcula para drenar todos los escurrimientos superficiales del área de captación impermeable, se estima con la siguiente ecuación:

$$t_b = 2.67t_p \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

- d) **El gasto máximo ( $Q_p$ )**. El gasto esperado con la precipitación neta en el área de escurrimiento se estima con la expresión:

$$Q_p = \frac{0.278.P.A}{t_p} \quad \text{Ecuación (3.14)}$$

Dónde:

$P$  = precipitación efectiva, mm

$A$  = área de captación o de la cuenca, km<sup>2</sup>

0.278 = factor de conversión a m<sup>3</sup> S<sup>-1</sup>

- e) **Estimación del área de la canaleta.**

El flujo en canaletas de captación y conducción se comporta como un flujo espacialmente variado, ya que el agua se va recolectando a lo largo de la canaleta, para determinar el área necesaria de conducción se utiliza la ecuación de continuidad, en la cual solo se despeja el área y se asumen velocidades promedio de 0.9 m s<sup>-1</sup> en pendientes 2 a 4% y 1.2 m s<sup>-1</sup> en pendientes 4 a 6%.

$$Q_p = AV$$

$$A = \frac{Q_p}{V} \quad \text{Ecuación (3.15)}$$

Dónde:

$Q_p$  = flujo en la canaleta, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

$V$  = velocidad del flujo en la canaleta,  $m\ s^{-1}$  (la velocidad en canaletas con pendiente de 4 a 6% es de  $1.2\ m\ s^{-1}$ )

$A$  = área de la sección transversal,  $m^2$

En el Tabla siguiente se muestran las expresiones para determinar las dimensiones de algunas secciones usadas como canaletas.

Tabla 19: Altura, área hidráulica, Perímetro mojado y Radio hidráulico en secciones para coleccionar el agua de lluvia.

Forma	Altura tirante	Área Hidráulica	Perímetro mojado	Radio Hidráulico	Observaciones
<b>Circular</b>	0,5D	$1,57\ r^2$	$3,14\ r$	$0,500r$	D = diámetro r = radio
<b>Rectangular</b>	Y	bt	$B+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b = base y= tirante
<b>Triangulo 90°</b>	Y	$y^2$	$2,83y$	$\frac{y^2}{2.83}$	y = tirante
<b>Trapezoidal talud 60° con la horizontal</b>				$y = \left(\frac{b+y/\sqrt{3}}{b+4y/\sqrt{3}}\right)$	b = ancho y= tirante

Fuente: Manual de Construcción de Reservorios de Agua de Lluvia.

**f) Diseño del volumen del sedimentador o trampa de sólidos**

La sedimentación es un proceso físico que consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Las variables de diseño de la trampa son el área efectiva de captación del agua de lluvia y la intensidad máxima de precipitación registrada considerando un valor de 50-100 mm/h, Anaya, 2005.

$$V_{\text{sedimentador}} = A_{ec} * I_p \tag{3.16}$$

Ecuación

Dónde:

- $V_{\text{sedimentador}}$  = volumen del sedimentador,  $m^3\ hora^{-1}$
- $A_{ec}$  = área efectiva de captación del agua de lluvia,  $m^2$
- $I_p$  = intensidad de precipitación,  $m\ hora^{-1}$

### **Cálculo de la intensidad de la precipitación.**

La intensidad de la precipitación ( $I_p$ ) para una tormenta es la relación, de la lámina de precipitación entre el tiempo de duración de la tormenta, es decir la pendiente de las gráficas producidas por el pluviógrafo.

La intensidad de lluvia máxima será la mayor pendiente observada para una tormenta según la ecuación siguiente.

$$I_p = \frac{P_r}{t} \quad \text{Ecuación (3.17)}$$

Dónde:

$P_r$  = la precipitación máxima registrada, mm h<sup>-1</sup>

$T$  = tiempo de duración de la tormenta, h

### **g) Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada**

El almacenamiento del agua de lluvia consiste en depositarla dentro de cisternas, para abastecer a una población considerada durante los meses de sequía y los de no sequía. El material del depósito del agua de lluvia captada, que se ha de considerar es de tanque flexible para agua.

#### **Características técnicas del tanque flexible para agua**

- Realizados con tejido de poliéster de elevada densidad con revestimiento de plastómero por ambos lados.
- Los dos lados están revestidos con polivinilcloruro con protección anti-UV introducida directamente en la masa de polímero.
- Posibilidad de almacenar líquidos con PH de 4 a 9.
- Todas las uniones se han realizado mediante soldadura de alta frecuencia.
- Las esquinas están reforzadas mediante aplicaciones de polipropileno oportunamente empernadas.
- Todas las aberturas han sido realizadas con doble refuerzo, tanto interno como externo; las aberturas han sido realizadas mediante bridas obtenidas de bloques de polipropileno reforzado con fibra de vidrio.
- Amplia gama de accesorios y acoplamientos.



Figura 9: Tanque Flexible de Plástico en Vivienda Rural

### **Las Principales Ventajas del Tanque Flexible**

- Instalación fácil y rápida.
- Dimensiones muy compactas, lo que significa costes de transporte y almacenamiento contenidos.
- Elevada resistencia mecánica y química.
- Coste muy competitivo respecto de otras soluciones de almacenamiento.

### **Aplicaciones del Tanque Flexible**

- Industria química.
- Sector agrícola – fertilizantes y abonos zootécnicos.
- Bioenergía – producto digerido.
- Recogida de residuos – lixiviados.
- Instalaciones de tratamiento de aguas – almacenamiento.
- Reservas hídricas contra incendios.
- Almacenamiento de agua potable.
- Reservas hídricas para riego.

<b>Almacenamiento flexible PVC para Líquidos</b>	
Material	Alta calidad de PVC/TPU recubierto de tela de poliéster
Modelo N°.	TB-WBT001
Capacidad	1000-500000 litros
Temperatura	-30 ~ 70 grados centígrados
Vida del uso	6-8 años
Anti	UV y fugas
Color	Azul/blanco/amarillo/verde o personalizada

El criterio para el diseño del volumen de la cisterna de almacenamiento, consiste en considerar la demanda de agua mensual que necesita una población durante los meses de sequía más dos meses (coeficiente de seguridad) de acuerdo al centro internacional de demostración y captación en aprovechamiento del agua de lluvia, con el objeto de asegurar el abastecimiento de agua a la población.

$$V_{cisterna} = D_j * M_{sequia+2} \quad \text{Ecuación (3.18)}$$

Dónde:

$V_{cisterna}$  = volumen mínimo de la cisterna, m<sup>3</sup>

$D_j$  = demanda mensual, m<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup>

$M_{sequia+2}$  = meses con sequía más 2.

Una vez determinadas las dimensiones del sistema de almacenamiento del agua captada y del filtro que se colocara en el ingreso y salida del tanque de almacenamiento, se realiza la confección de la armadura de madera tipo mesa con una altura de 1.50m, sobre el cual se instalara el tanque flexible de plástico, entonces desde aquí a de abastecer por gravedad el recurso hídrico para fines domésticos.

#### h) **Evaluación de la calidad de agua de lluvia.**

La evaluación consiste en comparar la calidad del agua de lluvia captada en el techo de calamina de una casa de la comunidad de Pucajrani Tiracollo, con respecto a los límites máximos permisibles señalados en la Norma OMS – Ministerio de Salud (1972), para ello se requirió de un muestreo y análisis de los resultados, el muestreo obedece a

los factores técnicos y de operación, como la disponibilidad del sitio, los problemas de transportación y la representatividad de los resultados, con ello se propondrá el uso y tratamiento del agua de lluvia para cumplir con la norma vigente, los parámetros se muestran en la Tabla siguiente.

*Tabla 20: Parámetros, límites máximos permisibles de la calidad de agua.*

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	Nivel Máximo Admisible	Métodos de ensayo.
<b>Turbiedad</b>	UNT	5	Nefelométrico
<b>Temperatura</b>	°C	--	Termómetro
<b>pH</b>	Valor de pH	6.5 a 8.5	Potenciométrico
<b>Conductividad (25°)</b>	µmho/cm	1 500	Potenciométrico
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	mg/L <sup>-1</sup>	1 000	potenciométrico
<b>Sólidos suspendidos</b>	mg/L <sup>-1</sup>	--	
<b>Dureza Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500	APHA-AWWA
<b>Cloruros</b>	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250	APHA-AWWA
<b>Sulfatos</b>	mg SO <sub>4</sub> =L <sup>-1</sup>	250	APHA-AWWA

*Fuente: OMS – MINSA Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.*

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA MEDIANTE COBERTURAS.

#### 4.1.1. Resultados de la evaluación de los techos de las viviendas

Para el aspecto técnico de la propuesta de captación de agua de lluvia para consumo humano, se ha considerado el estudio del área de los techos que conforman las viviendas de la Comunidad Campesina de Pucajrani Tiracollo. Para ello fue necesario realizar un diagnóstico del ámbito de estudio y producto de este trabajo se ha encontrado que, el área de los techos de la zona de estudio es de material de calamina galvanizada, la ventaja que proporciona este material es que presenta una superficie lisa de fácil escurrimiento y efecto esterilizante debido al calentamiento del metal producido por el sol.

La vivienda familiar cuenta con tres habitaciones cuyas dimensiones de los techos de calamina galvanizada es 8 m de largo x 5 m de ancho; así mismo la construcción del cobertizo y sus dimensiones son de 12m largo x 5m. de ancho, construidas de material rustico de adobe, con techos de lámina galvanizada, lo que hace un promedio en cuanto al área de recolección total de 100 m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que los techos de la vivienda no presentan óxido en los techos las cuales garantizan la captación del agua de buena calidad, asimismo estos techos tienen una pendiente que facilita el escurrimiento del agua de lluvia.



FIGURA N° 9: Evaluando el techo de una vivienda en la comunidad de Pucajrani - Tiracollo 2017.

*Fuente: Elaboración Propia.*

Actualmente las viviendas, en su mayoría están conformadas por tres habitaciones construidas con material rustico de adobe, con techos de lámina galvanizada, lo que hace un promedio en cuanto al área de recolección aproximada de 100 m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que los techos de las viviendas no presentan óxido en los techos las cuales garantizan la captación del agua de buena calidad, asimismo estos techos tienen una pendiente que facilita el escurrimiento del agua.

Tabla 21: Vivienda familiar y área total de techos construidos con lámina galvanizada

Nº VIVIENDA	JEFE DE FAMILIA	CARGA FAMILIAR	Nº DE HABITACIONES	ÁREA TOTAL DE HABITACIONES M <sup>2</sup>	DIMENSIONES DE HABITACIONES
1	Pascuala, LARICO FLORES	3	3	104	5X8 5X8 4X6
2	Celedonio, MARCA MARCA	5	3	115	5X9 5X9 5X5
3	Irene, RIZALAZO COAQUIRA	2	3	88	4X8 4X8 4X6
4	Mauro, RIZALAZO MARCA	4	2	52	5X8 2X6
5	Victor, MARCA INCACUTIPA	2	4	142	5X8 5X8 4X5 6X8

Fuente: Elaboración propio.

La vivienda de la Señora Pascuala, Larico Flores, está conformado de un dormitorio principal, un dormitorio secundario, cocina y sala multiusos. Los mismos que tienen las siguientes características: Los muros de las viviendas están construidas de adobe de 25 cm de grosor; el techo es de lámina galvanizada, de dos aguas. Considerando tres habitaciones se determinó un área de 184 m<sup>2</sup>, lo que está distribuido en un dormitorio principal, dormitorio secundario cocina y sala multiusos. Las viviendas en la zona de estudio en su gran mayoría no cuentan con canaletas para la colección de agua de lluvia.



FIGURA Nº 10: Vivienda sin canaleta para la colección del agua de lluvia – 2017.

Fuente: Elaboración Propio

Se consideró conveniente utilizar los techos de las viviendas con el objeto de fomentar una cultura de aprovechamiento del recurso hídrico a través de la captación y el aprovechamiento eficiente del agua de lluvia para el consumo doméstico, que contribuya al desarrollo rural sustentable en las comunidades de las zonas marginales.

La vivienda donde se instaló las canaletas tiene 64 metros lineales cada habitación, construidos con lámina galvanizada, calibre 26 unidas cada 3.05m con remaches y silicón de alta resistencia. La canaleta tiene una base de 10 cm, y una altura de 12 cm. El soporte para las canaletas de bajo de las orillas de los techos se realizó con una solera de acero de 1 \* 1/8 de pulgada a cada metro de distancia. El sistema de conducción de agua pluvial tiene una altura promedio de 1.2 en material de PVC sanitario.

#### 4.1.2. Resultados del diagnóstico técnico de agua potable.

Actualmente la comunidad de Pucajrani Tiracollo, no cuenta con el abastecimiento de agua potable, la forma como se realiza el abastecimiento de agua para consumo humano es a través de los pozos rústicos los que no cuentan con un tratamiento adecuado.



FIGURA N° 11: *Medición del área y la profundidad del pozo rustico – 2017.*

*Fuente: Elaboración Propio*

*Tabla 22: Jefes de familia encuestados que consumen agua de los pozos rústicos*

Nº POZO	BENEFICIARIO	FORMA DEL POZO	PROFUNDIDAD DEL POZO	NIVEL ESTÁTICO	VOLUMEN APROXIMADO M <sup>3</sup>
1	Aurelia, MARCA COTRADO	CIRCULAR	2,8	1,3	2,5
2	Tomasa, JARECA CRUZ	CIRCULAR	3,6	2	3,1
3	Celso, MAMANI FLORES	CIRCULAR	2,7	1,2	2,3
4	Jerardo, FLORES LIMACHE	CIRCULAR	3	1,4	2,7
5	Antonio, ESCOBAR QUISPE	CIRCULAR	2,5	1,2	2,6

*Fuente: Elaboración propio.*

Los pobladores de la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, no cuenta con el servicio de desagüe, del total de viviendas encuestadas solo 02 familias tienen pozo séptico y 80 viviendas no cuentan con el servicio de letrina o pozo ciego. Esto hace que se prolifere la contaminación del medio ambiente, afectando el desarrollo biológico e intelectual de la población, especialmente de los niños.

Asimismo a través de la encuesta aplicado en la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo en el mes de julio del 2017 se ha determinado que en 31 viviendas se consume agua en un promedio de 42 litros/persona/día, lo que demuestra que en la sierra del Perú el promedio según el Ministerio de Salud y la Organización Mundial de la Salud es de 50 Litros/persona/día en zonas rurales, la mayoría de los hogares rurales obtienen al agua de diversas fuentes. Entre ellas destacan significativamente las fuentes no tratadas (pozos rústicos).

Tabla 23: Familias encuestadas que consumen agua por Lit/pers/dia – 2017

POBLADORES DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE PUCAJRANI TIRACCOLLO 2017												
N°	POBLADORES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	PASCUALA LARIJO FLORES	2	3	80	78	X	X		3	18	10	8
2	CELEDONIO MARCA MARCA	5	3	113	250	X	X		5	20	15	10
3	IRENE RIZALAZO COAQUIRA	1	4	48	43	X		X	6	12	15	10
4	MAURO RIZALAZO MARCA	2	3	104	90	X	X		5	20	10	10
5	JOSE COPERTINO ESCOBAR MAMANI	5	3	128	180	X	X		3	15	10	8
6	FACUNDA INCACUTIPA MAQUERA	2	4	48	76	X	X		8	10	10	10
7	JULIAN ESCOBAR MAMANI	3	3	90	111	X		X	4	15	10	8
8	JULIA LUPACA ESCOBAR	2	4	64	76	X	X		5	18	10	5
9	VICTOR MARCA INCACUTIPA	2	3	96	86	X	X		3	20	15	5
10	ALEJANDRO ESCOBAR QUISPE	3	3	96	126	X		X	6	20	6	10
11	GREGORIO MARCA FLORES	4	3	128	160	X	X		5	20	10	5
12	IGLESIA CATOLICA	2	4	142	76	X	X		3	15	10	10
13	JOSE ESCOBAR QUISPE	5	3	120	190	X	X		5	15	8	10
14	JUAN MARCA FLORES	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
15	AGUSTINA MARCA ESCOBAR	1	3	48	42	X	X		4	20	10	8
16	CARMEN CHURA MARCA	4	4	96	176	X		X	4	25	10	5
17	AURELIA MARCA COTRADO	4	4	96	164	X	X		3	20	8	10
18	TOMASA JARECA CRUZ	4	3	128	164	X		X	5	20	8	8
19	CELSO MAMANI FLORES	2	4	64	84	X	X		4	20	10	8
20	JERARDO FLORES LIMACHE	4	3	96	152	X		X	4	25	5	4
21	ANTONIO ESCOBAR QUISPE	4	3	128	168	X		X	6	20	8	8
22	JUANA ESCOBAR DE COTRADO	3	3	96	129	X	X		5	20	10	8
23	FELIPE ESCOBAR CRUZ	3	4	96	147	X	X		4	25	10	10
24	MARTIN CALLO CALIZAYA	2	3	88	100	X	X		5	20	15	10
25	MARUJA MARCA COTRADO	3	3	96	129	X	X		5	20	10	8
26	JULIA ESCOBA DE ESCOBAR	2	3	96	82	X	X		3	20	10	8
27	LOCAL COMUNAL	4	5	128	164	X	X		3	20	10	8
28	FELIPA LARIJO FLORES	3	3	120	117	X		X	4	25	5	5
29	LEUCADIA COAQUIRA MAMANI	3	3	115	144	X	X		5	15	20	8
30	EUSEBIA RIZOLASO COTRADO	4	3	120	152	X	X		3	20	10	5
31	DANIEL RIZOLASO MARCA	4	2	128	192	X		X	5	20	15	8
32	GRACIANO RIZOLASO MARCA	2	3	96	86	X	X		3	20	15	5
33	CARMEN LUPACA LARIJO	3	3	96	126	X		X	6	20	6	10
34	PEDRO CHURA MARCA	4	3	128	160	X	X		5	20	10	5
35	JULIA MAQUERA MARCA	2	4	142	76	X	X		3	15	10	10
36	HONORIO LARIJO FLORES	5	3	120	190	X	X		5	15	8	10
37	JOSE CARLOS MARCA MARCA	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
38	JOSE ANTONIO ESCOBAR COTRADO	1	3	48	42	X	X		4	20	10	8
39	JUAN CRISOSTOMO ESCOBAR CRUZ	2	3	96	86	X	X		3	20	15	5
40	FELIPE SANTIAGO ESCOBAR COTRADO	3	3	96	126	X		X	6	20	6	10

Fuente: Elaboración Propio

POBLADORES DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE PUCAJRANI TIRACCOLLO 2017												
N°	POBLADORES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
41	ROSALIA ESCOBAR COTRADO	4	3	128	160	X	X		5	20	10	5
42	HUMBERTO INCACUTIPA COTRADO	2	4	142	76	X	X		3	15	10	10
43	HILDA MARCA INCACUTIPA	5	3	120	190	X	X		5	15	8	10
44	DEMETRIO ESCOBAR COTRADO	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
45	MANUEL CHURA CHOQUE	1	3	48	42	X	X		4	20	10	8
46	GUILLEMINA ALANOCA ACERO	4	4	96	176	X		X	4	25	10	5
47	MARIANO INCACUTIPA MAQUERA	4	4	96	164	X	X		3	20	8	10
48	LUIS MAMANI COPAJA	4	3	128	164	X		X	5	20	8	8
49	MARIO CCALLO ESCOBAR	2	4	64	84	X	X		4	20	10	8
50	CESARIO MARCA INCACUTIPA	4	3	96	152	X		X	4	25	5	4
51	EDWIN TICONA ESCOBAR	4	3	128	168	X		X	6	20	8	8
52	LORENZO TICONA FLORES	3	3	96	129	X	X		5	20	10	8
53	BERNARDO COTRADO MAQUERA	3	4	96	147	X	X		4	25	10	10
54	PEDRO TICONA INCACUTIPA	2	3	88	100	X	X		5	20	15	10
55	GLADYS NINA AROCUTIPA	3	3	96	129	X	X		5	20	10	8
56	JULIANA INCACUTIPA MAQUERA	2	3	96	82	X	X		3	20	10	8
57	BERNARDINA INCACUTIPA COTRADO	4	5	128	164	X	X		3	20	10	8
58	ROGERLIO TICONA MARCA	3	3	120	117	X		X	4	25	5	5
59	FELIPE MARCA ESCOBAR	3	3	115	144	X	X		5	15	20	8
60	TELESFORO INCACUTIPA MAMANI	4	3	120	152	X	X		3	20	10	5
61	PETRONA TICONA COTRADO	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
62	LIDIA INCACUTIPA MAQUERA	1	3	48	42	X	X		4	20	10	8
63	JUAN ADRIAN QUISPE INCACUTIPA	2	3	96	86	X	X		3	20	15	5
64	VICTOR INCACUTIPA MAQUERA	3	3	96	126	X		X	6	20	6	10
65	GLADIS INCACUTIPA COTRADO	4	3	128	160	X	X		5	20	10	5
66	FRANCSISCA MAQUERA USCAMAYTA	2	4	142	76	X	X		3	15	10	10
67	WILBER MAQUERA MARCA	5	3	120	190	X	X		5	15	8	10
68	GREGORIA MARCA DE MAQUERA	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
69	INOCENCIO INCACUTIPA JARECA	1	3	48	42	X	X		4	20	10	8
70	MODESTO MAQUERA MARCA	4	4	96	176	X		X	4	25	10	5
71	ROGELIO COTRADO ESCOBAR	4	4	96	164	X	X		3	20	8	10
72	VICTOR LARJO INCACUTIPA	4	3	128	164	X		X	5	20	8	8
73	DOMITILA MARCA FLORES	2	4	64	84	X	X		4	20	10	8
74	BONIFACIO COTRADO ESCOBAR	4	3	96	152	X		X	4	25	5	4
75	TORIBIO MARCA CHOQUE	4	3	128	160	X	X		5	20	10	5
76	CLAUDIA YESENIA ESCOBAR MARCA	2	4	142	76	X	X		3	15	10	10
77	WILBER TICONA ESCOBAR	5	3	120	190	X	X		5	15	8	10
78	ANTONIO CALLO ESCOBAR	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5
79	YUBER NINA AROCUTIPA	2	3	104	90	X	X		5	20	10	10
80	ISABEL INCACUTIPA DE TICONA	5	3	128	180	X	X		3	15	10	8
81	ROSALIA MARCA INCACUTIPA	2	4	48	76	X	X		8	10	10	10
82	SEBASTIAN LARJO INCAUTIPA	2	3	96	82	X	X		6	20	10	5

Fuente: Elaboración propio.

#### 4.1.3. Resultados del sistema de captación de agua de lluvia.

A	Carga familiar
B	Número de habitaciones
C	Área de techo en m <sup>2</sup>
D	Consumo de agua en lts/persona/día
E	Viviendas con techos de calamina galvanizada
F	Material noble con el que está construido la vivienda
G	Material de adobe con el que está construido la vivienda
H	Litros de agua para la bebida diaria por persona
I	Litros de agua para el saneamiento (lavado de ropa otros)
J	Litros de agua para la higiene
K	Litros de agua para la preparación de alimentos

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para el consumo humano se constituyen como un medio muy importante para combatir la contaminación y escases de agua en medios rurales, tal es la comunidad de Pucajrani Tiracollo. La captación de agua de lluvia de los techos de los domicilios, proporciona ventajas como: agua de buena

calidad para los habitantes que utilizan el sistema, al mismo tiempo eleva su calidad de vida al no tener que sufrir por abastecerse del recurso, recorriendo grandes distancias para conseguir agua para beber y hacer sus labores domésticas.

La higiene personal mejora, disminuyendo el número de enfermedades relacionadas por la falta de agua de buena calidad. En la implementación del sistema de captación de agua de lluvia no se requiere mayor inversión económica por ser de fácil aplicación, el empleo de mano de obra, los materiales existentes en la zona disminuyen los costos de construcción, el consumo de energía es escaso o nulo a excepción del sistema de distribución utilizado.

Se plantea la propuesta de efectuar los sistemas de captación de agua de lluvia en las 82 viviendas construidos por techos apropiados de calamina galvanizada considerando que esta propuesta es de vital importancia para una adecuada gestión del recurso hídrico carente en épocas de estiaje; para mejorar la calidad de vida del poblador rural.



FIGURA N° 12: Vivienda con techo de calamina galvanizada - 2017.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Aspectos técnicos del sistema de captación del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel familiar.

Se hizo el diseño de los componentes del sistema de captación de agua de lluvia en la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, el cual integra: sistemas de captación, conducción, filtrado, almacenamiento y disposición para abastecer de agua

potable a una familia de 5 personas con un consumo per capita de 50 litros / habitante / día considerando para poblaciones de sierra (según el Ministerio de Salud – 1984) citado por Roger Agüero Pittman “Agua Potable para poblaciones rurales – 1997”.

**a) Localización del sitio para establecer el sistema de captación de agua de lluvia.**

El primer paso fue determinar el lugar de instalación del sistema de captación de agua de lluvia.

**Ubicación**

Longitud Oeste : N 69° 29' 23.23"

Latitud : E 16° 05' 52.48"

Altura : 3880 msnm

**b) Determinación de la demanda de agua de la familia.**

El proyecto se realizó en la comunidad de Pucajrani Tiracollo del Distrito de Ilave Provincia del El Collao, del Departamento de Puno, para la determinación del agua que es necesaria para actividades domésticas se obtiene la demanda de agua mensual y anual en base al promedio que gasta una persona, 50 litros / habitante / día considerando para poblaciones de sierra.

Se consideró una familia de 5 habitantes para la determinación de la demanda de agua por cada mes.

$$\text{Mes de enero} : D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / \text{mes}$$

$$\text{Mes de febrero} : D_j = \frac{5 * 28 * 50}{1000} = 7.00m^3 / \text{mes}$$

$$\text{Mes de marzo} : D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / \text{mes}$$

Mes de abril :  $D_j = \frac{5 * 30 * 50}{1000} = 7.50m^3 / mes$

Mes de mayo :  $D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / mes$

Mes de junio :  $D_j = \frac{5 * 30 * 50}{1000} = 7.50m^3 / mes$

Mes de julio :  $D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / mes$

Mes de agosto :  $D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / mes$

Mes de setiembre :  $D_j = \frac{5 * 30 * 50}{1000} = 7.50m^3 / mes$

Mes de octubre :  $D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / mes$

Mes de noviembre :  $D_j = \frac{5 * 30 * 50}{1000} = 7.50m^3 / mes$

Mes de diciembre :  $D_j = \frac{5 * 31 * 50}{1000} = 7.75m^3 / mes$

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j = 91.25m^3 / año / familia$$

Tabla 24: Demanda del agua mensualizada para 1 persona

VOLUMEN MENSUALIZADO POR PERSONA AL AÑO (m³)													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Nº DE DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
VOLUMEN (m³)	1.55	1.40	1.55	1.50	1.55	1.50	1.55	1.55	1.50	1.55	1.50	1.55	18.25
VOLUMEN TOTAL DE AGUA REQUERIDA EN UN AÑO (m³)													18.25

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO N° 1: Volumen Requerido en un año para una persona

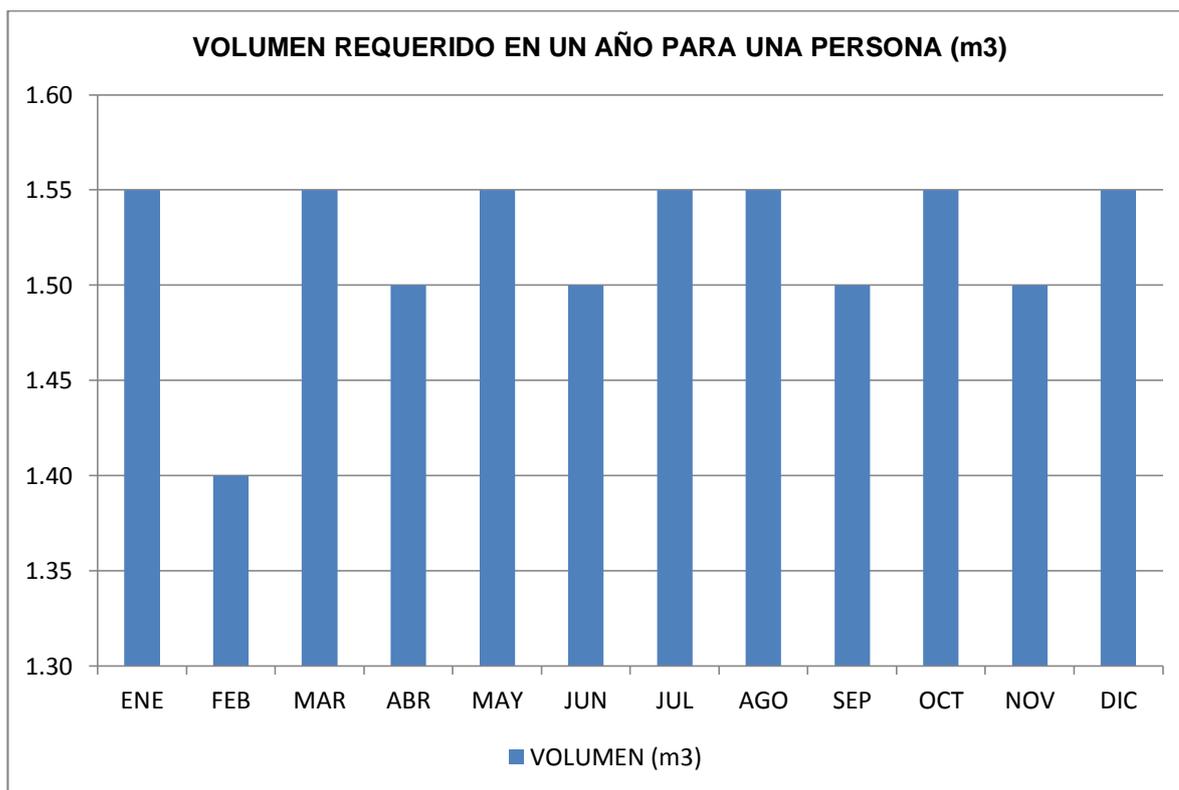
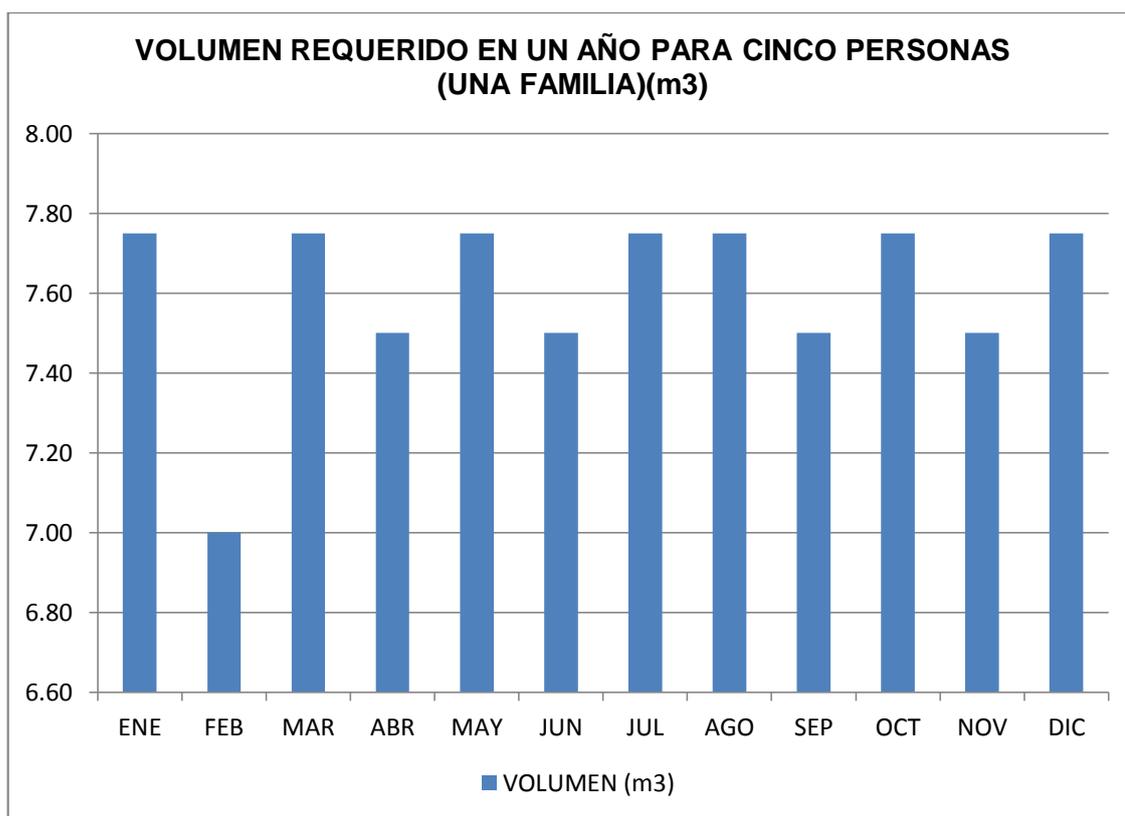


Tabla 25: Demanda del agua mensualizada para 5 personas

VOLUMEN MENSUALIZADO (m³)													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Nº DE DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
VOLUMEN (m³)	7.75	7.00	7.75	7.50	7.75	7.50	7.75	7.75	7.50	7.75	7.50	7.75	91.25
VOLUMEN TOTAL DE AGUA REQUERIDA EN UN AÑO (m³)													91.25

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO N° 2: Volumen Requerido en un año para cinco personas



c) **Cálculo de la oferta de precipitación pluvial.**

➤ **Cálculo de oferta de precipitación pluvial mensual**

La precipitación que se toma en cuenta para calcular la precipitación pluvial neta es la mensual promedio de los últimos años con registro, en este caso los meses con lluvia van de Diciembre a Marzo con 901.8. mm.

Tabla 26: Oferta de Precipitación del Agua Mensualizada

MESES	PRECIPITACIONES			
	Precipitación 1960-2010 (mm)	Precipitación 2016-2017 (mm)	AREA DE TECHO m <sup>2</sup>	PRECIPITACIÓN MENSUAL m <sup>3</sup>
ENERO	158.93	233.6	120	28.0320
FEBRERO	132.21	177.44	120	21.2928
MARZO	107.64	90.4	120	10.8480
ABRIL	42.29			
MAYO	9.95			
JUNIO	6.4			
JULIO	4.95			
AGOSTO	14.83			
SETIEMBRE	27.36			
OCTUBRE	32.48			
NOVIEMBRE	52.36			
DICIEMBRE	83.86	220	120	26.4
PROMEDIO				
<b>TOTAL</b>	<b>673.26</b>	<b>721.44</b>		<b>86.57</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 27: Precipitación del mes de Diciembre 2016 en (mm)

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DICIEMBRE 2016				
LUGAR DE ESTUDIO		COM. PUCAJRANI TIRACCOLLO		
PERIODO DE ESTUDIO		DICIEMBRE 2016 - MARZO 2017		
PRECIPITACION OFERTADA MES DE DICIEMBRE 2016				
FECHA	DIA	PRECIPITACIÓN (mm)		ACUMULADO POR DIA (mm)
		06:00 hrs	18:00 hrs	
01/12/2016	JUEVES	10	1	11
02/12/2016	VIERNES	14		14
03/12/2016	SABADO	12	2,5	14,5
04/12/2016	DOMINGO	8		8
05/12/2016	LUNES	9,4		9,4
06/12/2016	MARTES	2	2	4
07/12/2016	MIÉRCOLES	8,5		8,5
08/12/2016	JUEVES	1		1
09/12/2016	VIERNES	0,5		0,5
10/12/2016	SABADO	0,4		0,4
11/12/2016	DOMINGO	4	6	10
12/12/2016	LUNES	0,2		0,2
13/12/2016	MARTES	23	3	26
14/12/2016	MIÉRCOLES	18	15	33
15/12/2016	JUEVES	8,5	3	11,5
16/12/2016	VIERNES	6,2	3,5	9,7
17/12/2016	SABADO	8		8
18/12/2016	DOMINGO	16		16
19/12/2016	LUNES	8	5	13
20/12/2016	MARTES	4	10	14
21/12/2016	MIÉRCOLES	6		6
22/12/2016	JUEVES	5,8		5,8
23/12/2016	VIERNES			0
24/12/2016	SABADO	2		2
25/12/2016	DOMINGO	1	3	4
26/12/2016	LUNES	10		10
27/12/2016	MARTES	9	2,8	11,8
28/12/2016	MIÉRCOLES	2	3	5
29/12/2016	JUEVES	0,5	5	5,5
30/12/2016	VIERNES	10	0,5	10,5
31/12/2016	SABADO	0,5	2	2,5
<b>TOTAL (mm)</b>		<b>208,5</b>	<b>67,3</b>	<b>275,8</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28: Precipitación del mes de Enero 2017 en (mm)

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL ENERO 2017				
LUGAR DE ESTUDIO		COM. PUCAJRANI TIRACCOLLO		
PERIODO DE ESTUDIO		DICIEMBRE 2016 - MARZO 2017		
PRECIPITACIÓN OFERTADA MES DE ENERO 2017				
FECHA	DÍA	PRECIPITACIÓN (mm)		ACUMULADO POR DÍA
		06:00 hrs	18:00 hrs	
01/01/2017	DOMINGO	12	5	17
02/01/2017	LUNES	15	5	20
03/01/2017	MARTES	10	2,5	12,5
04/01/2017	MIÉRCOLES	5		5
05/01/2017	JUEVES	8	3	11
06/01/2017	VIERNES	9		9
07/01/2017	SÁBADO	5	2	7
08/01/2017	DOMINGO	5,5	3,5	9
09/01/2017	LUNES	5	3,5	8,5
10/01/2017	MARTES	3,5	4	7,5
11/01/2017	MIÉRCOLES	4		4
12/01/2017	JUEVES	6	4	10
13/01/2017	VIERNES		3	3
14/01/2017	SÁBADO	6		6
15/01/2017	DOMINGO	1,5	4	5,5
16/01/2017	LUNES	3		3
17/01/2017	MARTES	3,5	4	7,5
18/01/2017	MIÉRCOLES	5		5
19/01/2017	JUEVES	6	1	7
20/01/2017	VIERNES		2,5	2,5
21/01/2017	SÁBADO	2	5,5	7,5
22/01/2017	DOMINGO	5,5		5,5
23/01/2017	LUNES	4	2,5	6,5
24/01/2017	MARTES	5	6	11
25/01/2017	MIÉRCOLES	4,5	2	6,5
26/01/2017	JUEVES	7	5	12
27/01/2017	VIERNES	9	8	17
28/01/2017	SÁBADO	6	6	12
29/01/2017	DOMINGO	10	8	18
30/01/2017	LUNES	12	4	16
31/01/2017	MARTES	5	15	20
<b>TOTAL (mm)</b>		<b>183</b>	<b>109</b>	<b>292</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29: Precipitación del mes de Febrero 2017 en (mm)

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL FEBRERO 2017				
LUGAR DE ESTUDIO		COM. PUCAJRANI TIRACCOLLO		
PERIODO DE ESTUDIO		DICIEMBRE 2016 - MARZO 2017		
PRECIPITACIÓN OFERTADA MES DE FEBRERO 2017				
FECHA	DÍA	PRECIPITACIÓN (mm)		ACUMULADO POR DÍA
		06:00 hrs	18:00 hrs	
01/02/2017	MIÉRCOLES	6,5	0	6,5
02/02/2017	JUEVES	2,8	0	2,8
03/02/2017	VIERNES	5	2,5	7,5
04/02/2017	SÁBADO	16	1	17
05/02/2017	DOMINGO	0	0	0
06/02/2017	LUNES	4,5	0	4,5
07/02/2017	MARTES	2,5	3,5	6
08/02/2017	MIÉRCOLES	8,5	2,5	11
09/02/2017	JUEVES	2	10	12
10/02/2017	VIERNES	14	2	16
11/02/2017	SÁBADO	5	0	5
12/02/2017	DOMINGO	7	0	7
13/02/2017	LUNES	5	5	10
14/02/2017	MARTES	7	40	47
15/02/2017	MIÉRCOLES	8,5	0	8,5
16/02/2017	JUEVES	2	0	2
17/02/2017	VIERNES	0	0	0
18/02/2017	SÁBADO	1	0	1
19/02/2017	DOMINGO	0	0	0
20/02/2017	LUNES	5	2	7
21/02/2017	MARTES	8	0	8
22/02/2017	MIÉRCOLES	8	1	9
23/02/2017	JUEVES	5	0	5
24/02/2017	VIERNES	7	1	8
25/02/2017	SÁBADO	4	6	10
26/02/2017	DOMINGO	1	0	1
27/02/2017	LUNES	2	0	2
28/02/2017	MARTES	8	0	8
<b>TOTAL (mm)</b>		<b>145,3</b>	<b>76,5</b>	<b>221,8</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30: Precipitación del mes de Marzo 2017 en (mm)

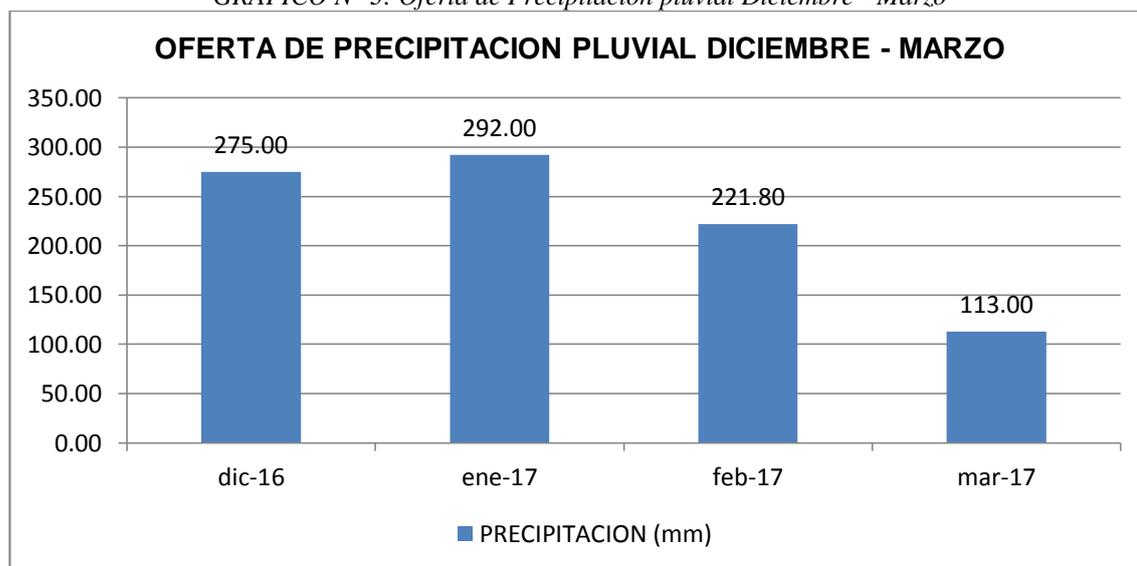
REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL MARZO 2017				
LUGAR DE ESTUDIO		COM. PUCAJRANI TIRACCOLLO		
PERIODO DE ESTUDIO		DICIEMBRE 2016 - MARZO 2017		
PRECIPITACION OFERTADA MES DE MARZO 2017				
FECHA	DÍA	PRECIPITACIÓN (mm)		ACUMULADO POR DÍA
		06:00 hrs	18:00 hrs	
01/03/2017	MIÉRCOLES	5	0	5
02/03/2017	JUEVES	4	0	4
03/03/2017	VIERNES	6	0	6
04/03/2017	SÁBADO	0	2	2
05/03/2017	DOMINGO	0	1	1
06/03/2017	LUNES	4	4	8
07/03/2017	MARTES	7	0	7
08/03/2017	MIÉRCOLES	5	0	5
09/03/2017	JUEVES	3	0	3
10/03/2017	VIERNES	0	0	0
11/03/2017	SÁBADO	0	0	0
12/03/2017	DOMINGO	8	0	8
13/03/2017	LUNES	0	2	2
14/03/2017	MARTES	5	3	8
15/03/2017	MIÉRCOLES	0	4	4
16/03/2017	JUEVES	3	2	5
17/03/2017	VIERNES	7	2	9
18/03/2017	SÁBADO	8	6	14
19/03/2017	DOMINGO	0	0	0
20/03/2017	LUNES	0	0	0
21/03/2017	MARTES	0	0	0
22/03/2017	MIÉRCOLES	0	0	0
23/03/2017	JUEVES	0	0	0
24/03/2017	VIERNES	0	0	0
25/03/2017	SÁBADO	0	0	0
26/03/2017	DOMINGO	5	0	5
27/03/2017	LUNES	8	1	9
28/03/2017	MARTES	5	3	8
29/03/2017	MIÉRCOLES	0	0	0
30/03/2017	JUEVES	0	0	0
31/03/2017	VIERNES	0	0	0
<b>TOTAL (mm)</b>		<b>83</b>	<b>30</b>	<b>113</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31: Oferta de Precipitación en (mm) Durante los meses de Diciembre 2016 a Marzo del 2017

PRECIPITACIÓN POR MESES					
MES	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	TOTAL
PRECIPITACIÓN (mm)	275.00	292.00	221.80	113.00	901.80
DIAS DEL MES	31	31	28	31	121

GRAFICO N° 3: Oferta de Precipitación pluvial Diciembre - Marzo



- **Cálculo de la oferta de precipitación pluvial neta**

En el cálculo de la precipitación pluvial neta solo se considera las precipitaciones netas con valores mayores a 40 mm (valores inferiores no se almacenan y se utilizan para la limpieza del área de captación y canaletas); para ello se tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.8 por tratarse de calamina.

- Mes de diciembre                      2016  $PN_{ijk} = 275 * 0.8 = 220$
- Mes de enero                            2017  $PN_{ijk} = 292 * 0.8 = 233.6$
- Mes de febrero                         2017  $PN_{ijk} = 221.8 * 0.8 = 177.44$
- Mes de marzo                            2017  $PN_{ijk} = 113 * 0.8 = 90.4$

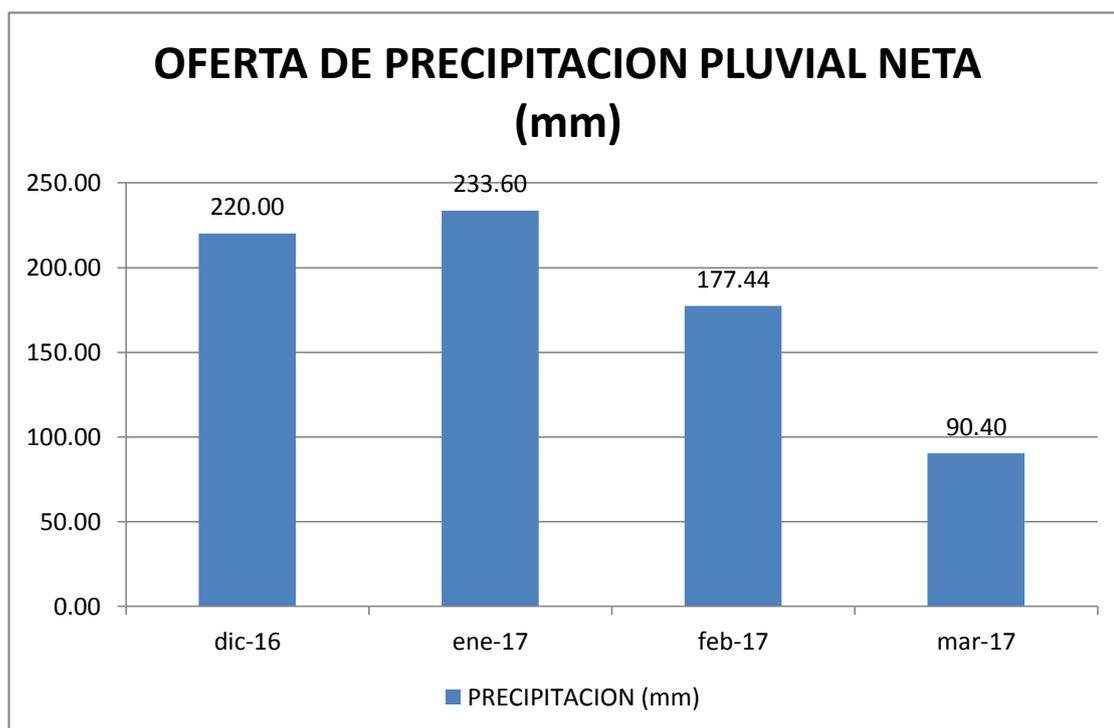
**La precipitación pluvial neta es de 721.44**

Tabla 32: Oferta de Precipitación Pluvia Neta de los meses Diciembre – Marzo

MES	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	TOTAL
<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	220.00	233.60	177.44	90.40	721.44
<b>DIAS DEL MES</b>	31	31	28	31	121

Fuente: Elaboración Propia.

GRAFICO N° 4: Oferta de Precipitación Pluvial neta



**d) Área de captación del agua de lluvia.**

El área de captación de la vivienda ubicado en la comunidad de Pucajrani Tiracollo es de 120 m<sup>2</sup> las cuales son de dos techos cada uno es de 60m<sup>2</sup>. Para comprobar si el área de captación de la infraestructura existente es suficiente, se utiliza la expresión que relaciona la demanda mensual y la precipitación neta de los meses más lluviosos, como es de diciembre a marzo.

$$A_{ec} = \frac{91.25 \text{ m}^3}{721.44 \text{ mm}} = 126.48 \text{ m}^2$$

El área de captación para el abastecimiento del agua en la vivienda de una familia de 5 personas para todo el año es de 126.48 m<sup>2</sup>.

**4.2. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.**

- Diseño del sistema de conducción del agua captada

- Longitud del cauce : 10 m
- Cota máxima : 2.7 m
- Cota mínima : 1.50 m
- Superficie de captación : 60 m<sup>2</sup>

$$60 \text{ m}^2 \times \left( \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right)^2 \times \frac{60 \text{ m} \times \text{km}^2}{1000000} = 0.000060 \text{ km}^2$$

Precipitación máxima registrada diaria = 47mm

Duración de la precipitación pluvial neta = 90 minutos (del

pluviómetro).

En seguida convertimos en horas y se tiene el siguiente resultado.

$$90 \text{ min} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 1.5 \text{ hrs}$$

La pendiente media consideramos = 0.06

**Resultados:****a) Tiempo de concentración del agua**

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{8.5^{0.77}}{0.060^{0.385}} \right) = 0.0049 \text{ h}$$

- b) **Estimación del tiempo en que ocurre el máximo escurrimiento con el empleo del tiempo de concentración.**

$$t_p = 2\sqrt{0.0049} + (0.6 * 0.0049) = 0.14294h$$

Conociendo el tiempo de duración de la precipitación pluvial máxima, se obtiene el tiempo en que ocurre el máximo escurrimiento.

$$t_p = 0.5D + 0.6(tc)$$

D = duración de la precipitación efectiva, h

**Reemplazando**

$$t_p = 0.5(1.5h) + 0.6(0.0049) = 0.75294 h$$

- c) **Tiempo para drenar todos los escurrimientos**

El tiempo que se necesita para drenar los escurrimientos se calcula con la siguiente expresión:

$$t_b = 2.67(tp)$$

Reemplazando en los dos casos

$$t_b = 2.67(0.142) = 0.3816 h$$

$$t_b = 2.67(0.7529) = 2.0103h$$

- d) **El gasto máximo esperado para el área indicada es:**

$$Q_p = \frac{0.278 * 47mm * 0.000060km^2}{0.143h} = 0.0104m^3/s$$

$$Q_p = 0.0104 \frac{m^3}{s} \times \frac{1000l}{1m^3} = 10.49 lt/s$$

$$Q_p = \frac{0.278 * 47mm * 0.000060km^2}{0.211hr} = 0.00371m^3/s$$

$$Q_p = 3.71 lts/s$$

El gasto esperado es de 10.49 lts/s.

- e) **Estimación del área transversal de una canaleta rectangular y circular para conducir 10.49 lts/seg.**

**Datos:**

$$Q_P = 0.0104 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 1.2 \text{ m /s}$$

La pendiente es 6% entonces el área será:

$$A = \frac{0.0104\text{m}^3/\text{s}}{1.2\text{m/s}} = 0.0086 \text{ m}^2$$

$$0.0086\text{m}^2 \times \frac{100\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 86 \text{ cm}^2$$

La sección del canal será (rectangular)

*Tabla 33: Altura, Área hidráulica, Perímetro mojado y Radio hidráulico en sección circular y rectangular*

Forma	área hidráulica	altura tirante	perímetro mojado	radio hidráulico	observaciones
Rectangular	0.16m <sup>2</sup>	0.08m	0.12m	0.025	b = 0.12 = base y = 0.16 =tirante

*Fuente: Elaboración Propio*

**f) Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada**

Área de la cisterna diseñada:

$$A = 5.30 \times 5.30 = 28.09 \text{ m}^2$$

Volumen a acumular

$$\text{Volumen del cisterna} = 28.09\text{m}^2 \times 1.80\text{m} = 50.562\text{m}^3$$

El reservorio podrá almacenar en un promedio de 50.562m<sup>3</sup> de agua

**g) Evaluación de la calidad de agua de lluvia**

La evaluación del agua de lluvia obtenida de los techos de una vivienda ubicada en la comunidad campesina de Pucajrani Tiracollo, se realizó desde el 15 de enero hasta el 15 de marzo del 2017. Las fechas obedecieron a factores técnicos y de operación, como la disponibilidad del sitio, los problemas de transportación y la representatividad de los resultados.

Los parámetros obtenidos del análisis físico químico del agua de lluvia están dentro de los límites permisibles señalados en la norma de la OMS – Ministerio de Salud (1972) los cuales se detallan en la siguiente Tabla:

*Figura 1: Parámetros de límites máximos permisibles comparados con el análisis físico químico del agua de lluvia 2017.*

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	Máximo Nivel Permissible	Resultados de los análisis realizados 2017.						
			10ENE	01FEB	18FEB	02MAR	28MAR	29ABR	15JUL
Turbiedad	UNT	5	0.46	0.46	0.43	0.4	0.42	0.38	0.35
Temperatura	°C	--	11	13.6	13	12	12.5	11.5	10
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5	7	7.2	7.1	7.2	7.1	7	7.1
Conductividad (25°)	µmho/cm	1 500	13	12.3	12	12.5	12.1	12	11
Sólidos Disueltos Totales	mg/L <sup>-1</sup>	1 000	5.8	6.1	6	6.1	6	6.2	6
Sólidos suspendidos	mg/L <sup>-1</sup>	--	2.9	3	3	3	3.1	3	2.9
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500	< 1.3	< 1.4	< 1.2	< 1.2	< 1.3	< 1.3	< 1.4
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250	< 2.5	< 2.5	< 2.4	< 2.4	< 2.3	< 2.5	< 2.3
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> =L <sup>-1</sup>	250	< 4.9	< 5	< 5	< 5.1	< 5.1	< 5.1	< 4.8

*Fuente: Elaboración Propia*

## 5. CONCLUSIONES

Del diagnóstico de las viviendas rurales, se ha observado que el 95% de las viviendas, de la Comunidad Campesina de Pucajrani Tiracollo, están construidas con techo de calamina galvanizada. En cada vivienda familiar se ha podido observar una superficie mayor de 100m<sup>2</sup> de calamina galvanizada. Cada habitación tiene las siguientes dimensiones aproximadamente 8.00 m de largo x 5.00 m de ancho. Siendo el área por habitación de 40 m<sup>2</sup>. Considerando tres habitaciones por vivienda familiar, se ha determinado el área total por muestra de 120 m<sup>2</sup>. aproximadamente. La demanda per cápita por persona es de 50 Lit/hab/día. La oferta de precipitación pluvial, en el punto de captación, es de 721.44 mm/año. Por 1 m<sup>2</sup> se capta 1 litro de agua y por 721.44mm se capta 721.44 litros de agua. Por lo tanto, en 25.30 m<sup>2</sup> de superficie materia de estudio, se obtiene 18.25 m<sup>3</sup> (para 1 sola persona al año), del líquido elemento; durante todo el año por persona. Según el diseño de captación se ha determinado que la sección transversal de la canaleta es de 86 cm<sup>2</sup>, con una base de 0.08 m, con una pendiente de 0.006 m. El diámetro calculado de la tubería recolectora es de 2" de clase 5. El volumen de la cisterna y/o tanque flexible para acumular el agua es de 50.5 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta el consumo de agua de diciembre a marzo, en consecuencia se ha propuesto diseñar y/o adquirir tanque flexible de plástico de una capacidad de 50.5 m<sup>3</sup>. El costo del suministro de agua a los ambientes de la vivienda rural es de costo cero, por lo que funcionara a gravedad.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Para lograr efectos positivos en el proceso de captación de agua de lluvia para consumo humano en los techos en viviendas rurales, se recomienda considerar el rubro capacitación para que la población tenga el conocimiento básico lo que contribuirá a la sostenibilidad a los recursos naturales de la zona de estudio y esencialmente la conservación del recurso hídrico.
2. Que la Universidad promueva realizar investigaciones más detalladas en el tema captación de agua de lluvia para consumo humano en techos de las viviendas rurales, como una medida para enfrentar la escases de los recursos hídricos que viene ocurriendo debido al problema del cambio climático, ocasionado por el calentamiento global.
3. Se recomienda utilizar este trabajo de investigación, como un primer paso para la realización de un manual en Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, ya que aunque los elementos del sistema son muy sencillos, es necesario trabajar mucho en diseños que aseguren agua de buena calidad y la salud de la personas.

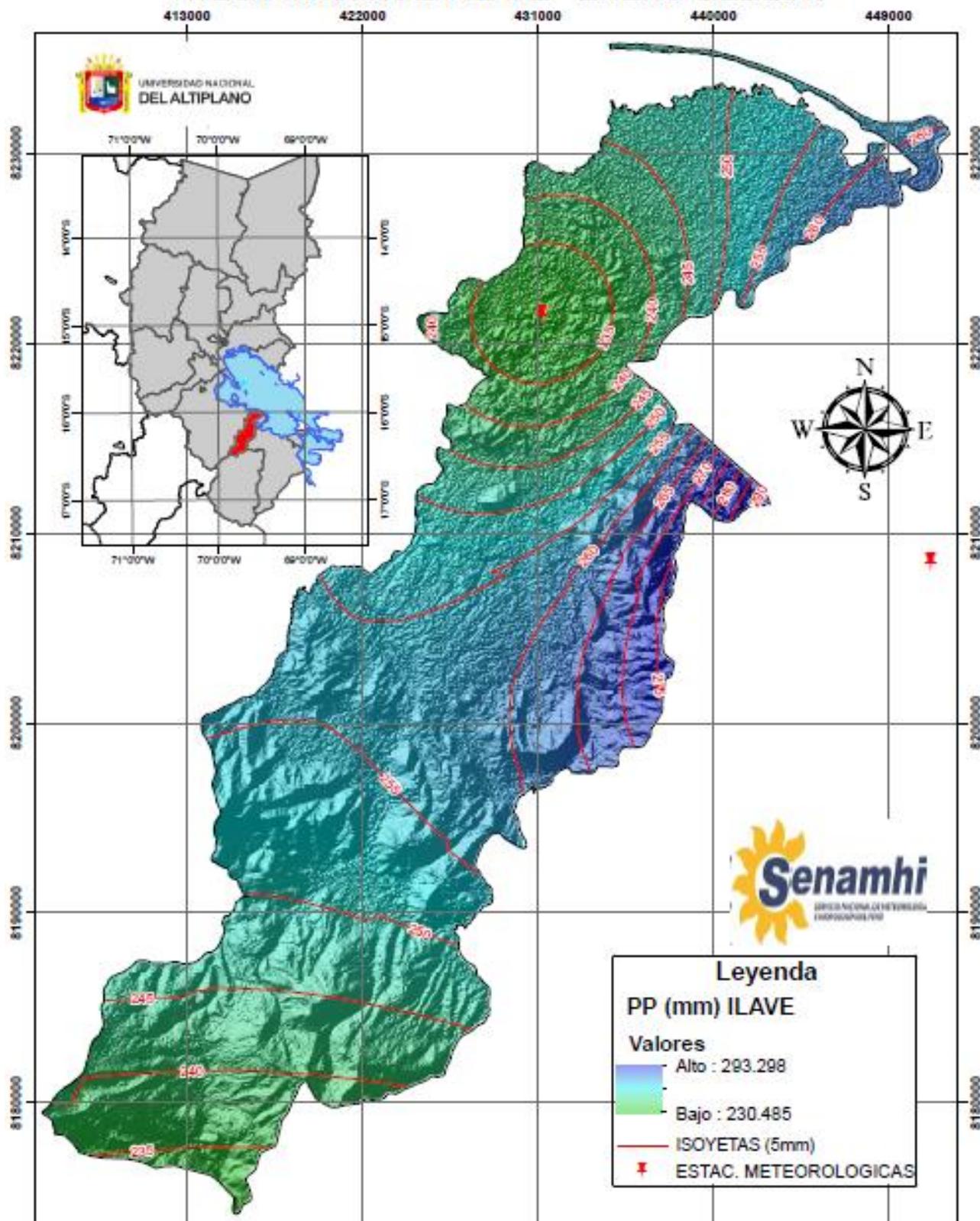
## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ANAYA M., (2009) Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe, Manual Técnico.
- CASAS TORRES, José Manuel y Antonio Higuera Arnal Compendio de Geografía General – páginas 54 y 55.. Editions RIALP Madrid (1977)
- BAEZ A.- BELMONT R., GARCIA R., PADILLA H., TORRES, M.C., (2007) Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico, Atmospheric Research 86(1):61-75
- Chow, V.T.; D.R. Maidment y L.W. Mays (1993).- Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, 580 pp.
- CIDECALLI – CP, (2007) Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel familiar.
- CRITCHLEY, W y SIEGERT, K. (1991) “Wtwr harvesting”. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- DAVIS M., (2005) Ingeniería y ciencias ambientales. Mc Graw Hill.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), (2000) Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- GUTIÉRREZ, J. (2003) “Reuso de agua y nutrientes” Medio ambiente y desarrollo, Cuba.
- HERRERA L., (2010) Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia.
- LAMBE, T. y WHITMAN, R. (1990) “Wastewater treatment and. Use in agriculture” FAO. Irrigation y drenaje.
- LLOSA, J., PAJARES, E. y TORO, O. (2009) “cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas”. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. Lima desco: Red Ambiental Peruana.

- SAGAR K. (2002) Sampling and physico-chemical analysis of precipitation: a review. *Environmental Pollution* 120 (3): 565-594. Salud. Perú.
- TEBBUT, T. (1990) “Fundamentos del control de calidad de Aguas” Editorial Limusa, Noriega – Mexico.
- MIGLIO, R., (2009) Abastecimiento de agua en el medio rural.
- UNATSABAR (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural), (2001) Guía de diseño para captación del agua de lluvia.
- UNATSABAR, (2001) Guía de diseño para captación del agua de lluvia, Perú.
- UNATSABAR, (2003) Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas, Perú.
- VELÁZQUEZ G., (2012) Sistemas de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la CD. De México.
- VISSMAN, W. y G. L. Lewis (2003).- Introduction to Hydrology. Pearson Education Inc., 5ª ed., 612 pp.
- Villon, B. M. (2011). Hidrología. LIMA.

## **ANEXOS**

### PRECIPITACION EN ILAVE - ENERO DEL 2017



**Senamhi**  
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

**Leyenda**  
PP (mm) ILAVE

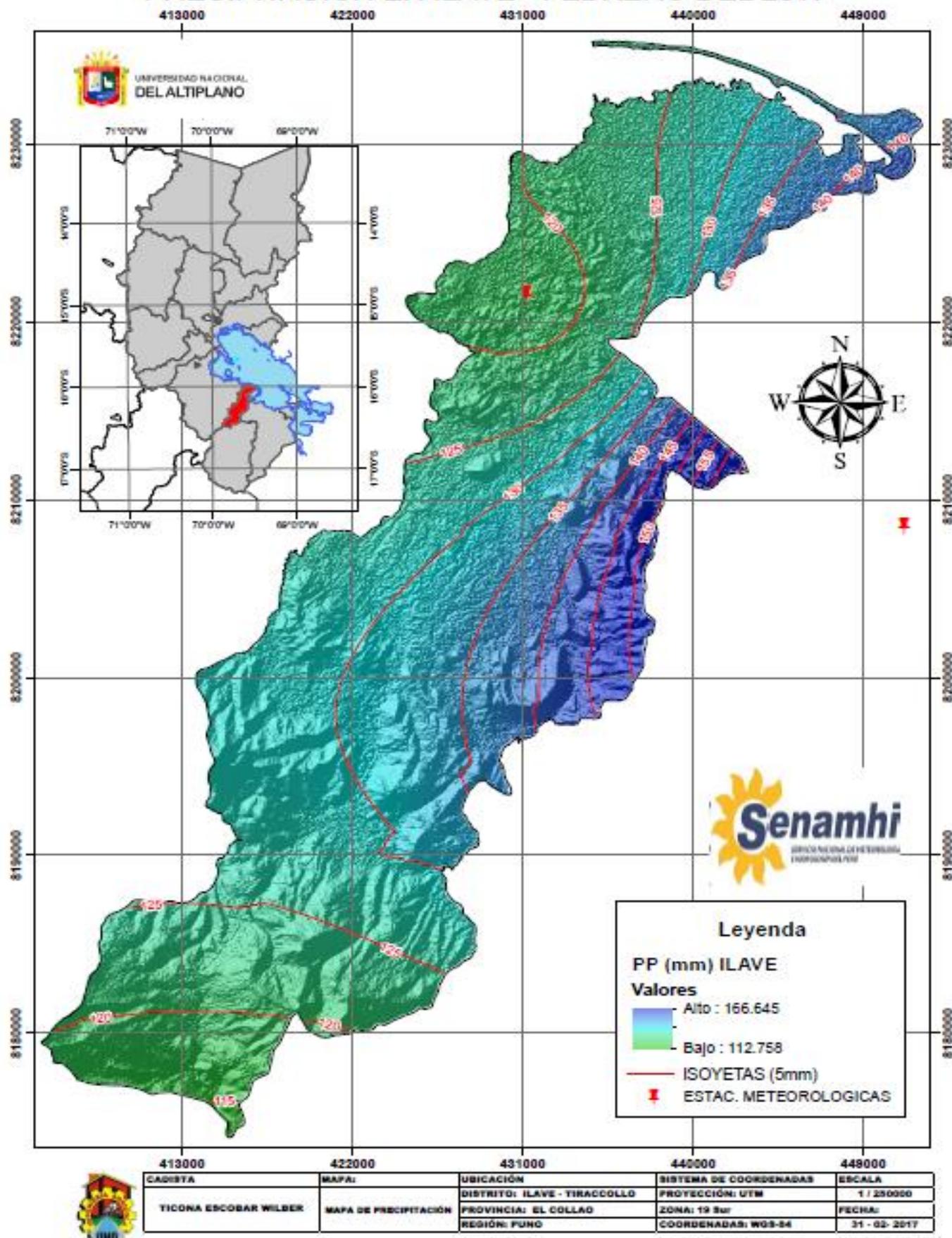
**Valores**

- Alto : 293.298
- Bajo : 230.485
- ISOYETAS (5mm)
- ESTAC. METEOROLOGICAS



<b>CADISTA</b>	<b>MAPA:</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>SISTEMA DE COORDENADAS</b>	<b>ESCALA</b>
TICONA ESCOBAR WILBER	MAPA DE PRECIPITACIÓN	DISTRITO: ILAVE - TIRACOLLO	PROYECCIÓN: UTM	1 / 250000
		PROVINCIA: EL COLLAO	ZONA: 19 Sur	FECHA:
		REGIÓN: PUNO	COORDENADAS: WGS-84	31 - 01 - 2017

### PRECIPITACION EN ILAVE - FEBRERO DEL 2017



CADISTA	MAPA:	UBICACIÓN	SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
TICONA ESCOBAR WILBER	MAPA DE PRECIPITACIÓN	DISTRITO: ILAVE - TIRACOLLO PROVINCIA: EL COLLAO REGIÓN: PUNO	PROYECCIÓN: UTM ZONA: 19 Sur COORDENADAS: WGS-84	1 / 250000 FECHA: 31 - 02 - 2017

### PRECIPITACION EN ILAVE - MARZO DEL 2017

