

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
CARRERA DE CONSTRUCCIONES CIVILES**



**TRABAJO DE APLICACIÓN DE EXAMEN DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL GRADO DE LICENCIATURA**

**“DISEÑO DE SISTEMA DE COSECHA PLUVIAL PARA SU  
APROVECHAMIENTO COMO MEDIO ALTERNATIVO PARA EL CONSUMO  
DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE  
CURAHUARA”**

**POR: MARCO ANTONIO ILLANES ARCAYA**

**LA PAZ- BOLIVIA**

**2022**



## **DEDICATORIA**

*A mi madre Justina y a mi hermano Víctor David que siempre me apoyaron incondicionalmente en el logro de mis objetivos y metas.*

*A mi novia Raquel por brindarme su amor y el apoyo constante y desinteresado que siempre me ofreció.*

*Son mi mayor motivación para seguir adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por brindarme la oportunidad de seguir adelante.*

*A mi familia y mi novia, que me apoyaron en la culminación del presente trabajo y que sin ellos no hubiera sido posible su presentación.*

*A la Universidad Mayor de San Andrés, la Facultad de Tecnología y docentes por los conocimientos académicos que me transmitieron para mi desarrollo profesional.*

*A mis amigos con quienes vivimos y compartimos diferentes conocimientos dentro y fuera de la Universidad, gracias por todo el apoyo incondicional que me brindaron.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Justificación del Trabajo .....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General .....	4
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Contexto normativo.....	5
2.2. Marco Conceptual.....	6
2.2.1. Unidades territoriales de estudio .....	6
2.2.1.2. Comunidad.....	6
2.2.1.3. Unidad de Producción Agropecuaria (UPA) .....	6
2.2.2. Definición de Sistema .....	7
2.2.3. Precipitación pluvial .....	7
2.2.3.1. Definición de precipitación .....	7
2.2.3.2. Tipos de precipitaciones.....	7
2.2.3.3. Medidas de la precipitación .....	8
2.2.5. Agua .....	9
2.2.5.2. Características físicas del agua .....	11
2.2.5.3. Características químicas del agua .....	11
2.2.5.4. Características biológicas del agua.....	11
2.2.5.5. Composición del agua de lluvia.....	12
2.2.5.6. Consumo de agua .....	12
2.2.5.7. Factores que influyen en el consumo de agua.....	14
2.2.6. Sistemas de cosecha de agua de lluvia.....	15

2.2.6.1.	Desarrollo histórico .....	15
2.2.6.2.	Clasificación de los sistemas de cosecha de agua de lluvia .....	16
2.2.6.4.	Componentes del sistema de captación por techos.....	19
2.2.6.5.	Consideraciones para el diseño .....	22
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>22</b>
3.1.	Localización y Ubicación .....	22
3.1.1.	Ubicación política.....	22
3.1.2.	Límites territoriales .....	22
3.1.3.	Ubicación geográfica .....	23
3.1.4.	Características fisiográficas del municipio .....	23
3.1.4.2.	Suelos y uso actual .....	24
3.1.4.3.	Vegetación .....	25
3.1.4.4.	Clima .....	25
3.1.5.	Estudio de las demandas de agua.....	26
3.1.5.1.	Vertientes .....	30
3.1.5.2.	Pozos superficiales y profundos.....	30
3.1.5.3.	Cosecha de aguas .....	30
3.1.5.4.	Desarrollo de actividades agropecuarias .....	30
3.1.5.5.	Especies y población ganadera .....	31
3.2.	Materiales .....	32
3.2.1.	Material y equipo logístico de campo y gabinete .....	32
3.2.2.	Información básica.....	32
3.3.	Metodología .....	34
3.3.1.	Diagnóstico de la situación actual.....	34
3.3.2.	Diseño técnico del sistema de cosecha pluvial.....	36
3.4.	Variables de respuesta .....	36
<b>4.</b>	<b>SECCIÓN PROPOSITIVA.....</b>	<b>37</b>

4.1. Descripción de los sistemas de cosecha de agua por techos en el municipio. ....	37
4.1.1. Tipos de sistemas de cosecha de agua de lluvia.....	39
4.1.1.1. Tipo 1. Sistema de cosecha pluvial rustico para uso domestico .	39
4.1.1.2. Tipo 2. Sistema de cosecha pluvial convencional para consumo humano.....	41
4.1.1.3. Principales problemas de los sistemas de cosecha .....	43
4.2. Determinación de los requerimientos de agua y oferta de precipitación pluvial para consumo en la unidad familiar.....	43
4.2.1. Demanda de agua por unidad familiar.....	43
4.2.1.1. Cálculo de la demanda de agua para uso domestico .....	44
4.2.2. Oferta de precipitación pluvial.....	48
4.4. Planteamiento de un sistema de cosecha de agua de lluvia .....	51
4.4.1. Componentes del sistema .....	51
4.4.1.1. Área de captación .....	51
4.4.1.2. Recolección y conducción.....	52
4.4.1.3. Filtro .....	53
4.4.1.4. Interceptor de primeras aguas de lluvia .....	53
4.4.1.5. Tanque de almacenamiento.....	54
4.4.1.6. Resultados finales.....	56
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## **RESUMEN**

El presente trabajo de aplicación se llevó a cabo en el Municipio de San Pedro de Curahuara ubicado en la provincia Gualberto Villarroel.

La importancia de captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano es de gran relevancia para la mayoría de las poblaciones, sobre todo aquellas que no tienen acceso a este vital líquido.

El principal problema identificado es la poca disponibilidad de fuentes de agua para consumo humano y animal, por lo que en los últimos años se implementaron sistemas de cosecha pluvial en varias comunidades del municipio con el objetivo de mejorar las condiciones de disponibilidad de agua en las unidades familiares comunales.

Por lo cual en este trabajo de aplicación se presenta el estudio donde se propone un diseño de sistemas de cosecha de agua pluvial como alternativa para el consumo de agua potable.

### **Palabras clave:**

Cosecha pluvial, medio alternativo, agua potable, demanda de agua, precipitación pluvial.



# **“DISEÑO DE SISTEMA DE COSECHA PLUVIAL PARA SU APROVECHAMIENTO COMO MEDIO ALTERNATIVO PARA EL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE CURAHUARA”**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

San Pedro de Curahuara pertenece a la región del altiplano sur del departamento de La Paz, cuya precipitación media es de 325 mm anuales y los recursos hídricos en el municipio son de carácter temporal e intermitente; durante el año casi la totalidad de los ríos desaparecen, y las únicas fuentes de agua son los pozos y vertientes, los cuales son utilizadas para el consumo humano y animal, teniendo como consecuencia problemas en la salud de los pobladores.

Por otro lado, existen comunidades en las cuales la distancia entre las unidades familiares es considerable y se tiene una topografía accidentada, lo que imposibilita la instalación de sistemas de agua convencionales o por tubería, debido al costo de implementación y en muchos casos a la inaccesibilidad de los predios.

Los sistemas de captación de agua de lluvia han sido implementados a nivel global, como en Bolivia especialmente en el departamento de Potosí con el apoyo del Gobierno Central y con recursos financieros de cooperación extranjera (FAO, 2016).

Estos sistemas se implementan en los siguientes casos: en zonas donde no existe una red de distribución de agua por tubería o el suministro es insuficiente, cuando la disponibilidad de agua subterránea y superficial es muy baja para abastecer a una determinada población, cuando se tiene largas distancias entre unidades familiares o unidades de producción agropecuaria, aspectos que ocasionan que la implementación de los sistemas de abastecimiento de agua convencionales no sea factible.

En el municipio de San Pedro de Curahuara, el gobierno local con recursos financieros provenientes de la municipalidad, implementó los sistemas de cosecha de agua de lluvia con diferentes características, en las comunidades de Huayhuasi, Huarachi y Conchari; con el fin de proveer agua a las unidades familiares.

Durante el presente estudio se identificaron algunos tipos de sistemas de cosecha de agua de lluvia, que son utilizados en unidades familiares con el objetivo de abastecer principalmente la necesidad de agua para consumo humano, y también son utilizados para el consumo animal y riego en algunos casos.

El almacenamiento de agua de lluvia implementado en las unidades familiares, varía desde 3.500 litros a 10.000 litros, conservados en tanques de polietileno (PE) y tanques de hormigón armado.

## **1.2. Justificación del Trabajo**

El agua es el principal elemento para la subsistencia y el desarrollo de una comunidad, ya que todos los seres vivos requieren de un suministro diario de este elemento, para realizar sus actividades cotidianas en cualquier unidad familiar o unidad de producción agropecuaria.

Se ha identificado en las comunidades del municipio, donde se implementaron sistemas de agua convencionales o por tubería, que uno de los mayores problemas existentes es una deficiente gestión integral del agua lo que afecta en su sostenibilidad.

Por lo tanto, para afrontar la escasez de agua, se debe considerar fuentes alternativas que satisfagan la demanda de agua, que incluya el uso eficiente del agua empleando los recursos disponibles y de fácil acceso.

En estos últimos años, las poblaciones especialmente del altiplano boliviano se han enfrentado a una progresiva reducción de la disponibilidad de agua en las principales fuentes, provocando su escasez; a causa de ello se han implementado sistemas de cosecha pluvial en unidades familiares para

propósitos de consumo doméstico y animal.

El municipio de San Pedro de Curahuara se encuentra en una región donde la disponibilidad de agua es escasa y además la demanda de agua sigue en aumento, debido al crecimiento de la población y la necesidad de una mayor producción de alimentos para la subsistencia y para la generación de recursos económicos para las familias que viven en el área rural; razones por las cuales surge la necesidad de contar con sistemas alternativos de agua que puedan satisfacer el requerimiento de agua y principalmente a nivel de unidad familiar o unidad de producción agropecuaria.

La implementación de los sistemas de cosecha de agua de lluvia son pequeñas obras particulares y comunales para captar y almacenar el agua de mejor calidad que los pozos o manantiales de agua, por lo que esta alternativa es de relativo bajo costo y no es necesario el pago por el servicio.

La alternativa abarca la participación de los miembros de la población para su consumo, higiene y saneamiento de manera individual, es decir, de la unidad familiar, lo que facilita que la población tenga fuentes seguras de agua de buena calidad en el tiempo y espacio y con instalaciones adecuadas que puedan garantizar el bienestar del poblador rural y esencial para reducir los índices de pobreza.

En consecuencia, el presente trabajo de aplicación plantea una alternativa de abastecimiento de agua para el consumo doméstico en las unidades familiares o unidades de producción agropecuaria del municipio de San Pedro de Curahuara.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de cosecha de agua de lluvia para su aprovechamiento como medio alternativo en una vivienda familiar del municipio de San Pedro de Curahuara.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar los requerimientos de agua para su aprovechamiento como medio alternativo en una vivienda familiar.
- ✓ Describir las características principales de los sistemas de captación de agua de lluvia existentes en las viviendas familiares del municipio de San Pedro de Curahuara.
- ✓ Graficar y tabular los resultados de cálculo y la dotación prevista con el uso de este medio alternativo.
- ✓ Determinar el requerimiento de agua en una unidad familiar del municipio de San Pedro de Curahuara.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Contexto normativo**

La Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, establece:

- ✓ Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable (Art. 20).
- ✓ El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad (art. 373).
- ✓ El estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida (Art. 374)

La Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien establece en su art. 27 inciso 6 que la función del estado es el “Promover el aprovechamiento y uso sustentable del agua para la producción de alimentos de acuerdo a prioridades y potencialidades productivas de las diferentes zonas”.

Asimismo, la Ley del Medio Ambiente, enuncia en su artículo 38 que “el estado promoverá la planificación, el uso y aprovechamiento integral de las aguas, para beneficio de la comunidad nacional con el propósito de asegurar su disponibilidad permanente, priorizando acciones a fin de garantizar agua de consumo para toda la población”.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Unidades territoriales de estudio**

#### **2.2.1.1. Municipio**

Según la Ley de municipalidades, “el Municipio es la unidad territorial y poblacional, política y administrativamente organizada dentro de los límites de una sección de provincia en la que viven un conjunto de familias en relación de vecindad y con fines comunes”, asimismo, menciona que “la municipalidad es la entidad autónoma de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio que representa institucionalmente al Municipio, forma parte del Estado y contribuye a la realización de sus fines.

#### **2.2.1.2. Comunidad**

Comunidad es una Organización Territorial y Natural que debe estar estructurada según sus usos, costumbres o disposiciones estatutarias, tener un nombre común y autoridades jurisdiccionales propias, reconocidas por sus habitantes (Censo Agropecuario Estado Plurinacional de Bolivia, 2013).

#### **2.2.1.3. Unidad de Producción Agropecuaria (UPA)**

La UPA es la unidad de organización de la producción agropecuaria, comprende el terreno, parcela o bien el conjunto de terrenos o parcelas, utilizados total o parcialmente para actividades agropecuarias, conducidos como una unidad económica por un productor, sin distinción de tamaño, régimen de tenencia o condición jurídica. El productor es la persona natural o

jurídica, que tiene la iniciativa económica, técnica y la responsabilidad del manejo (INE, 2013).

### **2.2.2. Definición de Sistema**

Quiroz et al. (1989), señalan al sistema como “un grupo de componentes que interaccionan entre sí, y que, a su vez, cada grupo se comporta como una unidad completa”.

### **2.2.3. Precipitación pluvial**

Abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes y caen a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo.

#### **2.2.3.1. Definición de precipitación**

Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: la lluvia, nieve y granizo, también rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación pluvial (Sánchez, disponible en <http://hidrologia.usal.es>)

La precipitación es cualquier forma de humedad que llega a la superficie terrestre, ya sea lluvia, nieve, granizo, niebla y rocío (Bateman, 2007).

#### **2.2.3.2. Tipos de precipitaciones**

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos, según el factor responsable del levantamiento del aire para su enfriamiento necesario para producir precipitación (Chereque, 1989. p.18).

- ✓ Precipitaciones convectivas. Son causadas por el ascenso de aire cálido mas liviano que el aire frío de los alrededores. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.
- ✓ Precipitaciones orográficas. Resultan del ascenso del aire cálido hacia

una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen.

- ✓ Precipitaciones ciclónicas. Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde se precipitan.

Por otro lado, según la forma en que se presenta, la precipitación recibe los nombres de (Aguilo, et. al. 1998):

- ✓ Lluvia, gotas líquidas de diámetro comprendido entre 0.5 mm y 3 mm que llegan al suelo con velocidad mayor a 3 m/s y menor a 7 m/s.
- ✓ Llovizna, gotas líquidas de diámetro inferior a 0.5 mm muy numerosas, que caen con velocidad inferior a 3 m/s. y casi siempre superior a 1 m/s.
- ✓ Chubasco, gotas grandes más o menos dispersas de diámetro superior a 3 mm que caen con velocidad superior a 7 m/s.
- ✓ Nevada, Copos constituidos por cristales hexagonales de hielo, microscópicos, que caen con poca velocidad y forman en el suelo capas de estructura esponjosa.
- ✓ Nieve granulada, granos esféricos de nieve cristalina, de 3 a 5 mm de diámetro, frágiles, que rebotan al tocar el suelo.
- ✓ Granizo, granos de hielo redondeados, de estructura concrecionada, en los que alternan ordinariamente capas amorfas y capas cristalinas, de tamaño variable desde un milímetro en adelante.

### **2.2.3.3. Medidas de la precipitación**

La cantidad se expresa por la altura de capa de agua que forma sobre el suelo completamente horizontal e impermeable, suponiendo que sobre dicha capa no se produce ninguna evaporación (Mariscal, 1992).

La lluvia se puede medir en términos de altura de agua pues consiste en la medida de un volumen por unidad de superficie. También se puede

considerar como cuánta agua se puede acumular (mm) en una superficie determinada (m<sup>2</sup>) (Bateman, 2007). La unidad de medida es el milímetro

Asimismo, la intensidad de precipitación, aunque conceptualmente se refiere a un instante, suele expresarse en mm/hora.

A partir de una serie de datos obtenidos de una estación climatológica, se puede caracterizar el régimen de precipitaciones de un determinado lugar, mediante parámetros estadísticos como ser: la precipitación media mensual, media anual, precipitación anual media (Aguilo, et. al. 1998).

La precipitación media mensual es la correspondiente a la suma de todas las precipitaciones diarias del mes y la precipitación media anual es la total acumulada desde las 8:00 horas del día 1ro de enero de un año a las 8:00 horas del día 1ro de enero del año siguiente (año pluviométrico), igual a la suma de los valores de precipitación mensual de los doce meses del año (Michel, 2002).

Los instrumentos para leer con más precisión la cantidad de precipitación caída se utiliza los pluviómetros y pluviógrafos. Un pluviómetro recoge el agua en una bureta de sección menor a la de boca del pluviómetro. La lectura del agua recogida se efectúa una vez al día. El pluviógrafo registra la evolución de la precipitación con el tiempo, bien con tinta y papel o bien digitalmente (Mariscal, 1992).

## **2.2.5. Agua**

### **2.2.5.1. Calidad del agua**

El termino de calidad de agua es relativo y solo tiene importancia si está relacionado con el uso del recurso, es decir, la calidad de agua debe especificarse en función al uso que se le va a dar, lo que significa que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (UNATSABAR, 2005).

En consecuencia, la calidad del agua para consumo humano, es el que



enmarca (según sus parámetros físico, químico y biológicos) dentro los límites de concentración establecidos por las normas internacionales y nacionales de calidad de agua para consumo humano (UNATSABAR, 2005).

El agua potable o agua para el consumo humano, aquella que puede ser consumida sin restricción debido a que, mediante procesos de purificación, se han eliminado las sustancias y microorganismos que pueden provocar enfermedades o perjudicar la salud del ser humano.

En nuestro país los requisitos que debe cumplir el agua para ser catalogada como potable o agua para el consumo humano, están establecidos en la Norma Boliviana NB 512, en el citado Reglamento se establecen los diferentes parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se agrupan de acuerdo a su factibilidad técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

#### PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO

PARAMETRO	VALOR MAXIMO ACEPTABLE
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 $\mu$ /Scm
Turbiedad	5 UNT
Cloro Residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

*Fuente: Reglamento nacional para el control de la calidad del agua NB – 512*

En tal sentido para poder cumplir con las exigencias establecidas en el citado Reglamento, las aguas captadas que van a ser destinadas al uso poblacional, pasan por diversos procesos físicos y químicos, mediante los cuales se eliminan el material en suspensión, y partículas de impurezas, usando decantadores y filtros, para finalmente ser desinfectadas mediante cloración.

### **2.2.5.2. Características físicas del agua**

Se refieren al olor, color y turbidez. El sabor y el olor están determinados por la cantidad de materia orgánica que se encuentra disuelta en ella y de las sustancias químicas que se adhirieron en su recorrido. Adquiere cierto color cuando se concentra en grandes cantidades, ya sea azul cuando posee un bajo contenido de materia orgánica y verdosa cuando posee altas concentraciones de materia orgánica. La turbidez, además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión (Orellana, 2005).

### **2.2.5.3. Características químicas del agua**

La mayoría de las sustancias químicas que se encuentran en el agua y que pueden producir daños a la salud vienen de diversas fuentes y surgen después de una exposición prolongada al contaminante, a excepción de las sustancias que se descargan de forma intermitente o por la lixiviación. Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración (Orellana, 2005).

### **2.2.5.4. Características biológicas del agua**

Existen diversos organismos cuya relevancia no es mucha debido a que no tienen efecto en la salud, pero producen un sabor y olor desagradables, además de que indican un manejo inadecuado.

El origen puede ser de forma natural que este conformado por microorganismos que se encuentran en el entorno o como consecuencia de las actividades industriales y microorganismos suspendidos en el ambiente y que son arrastrados por la lluvia.

El agua que se destina para consumo humano, debe estar libre de algas, bacterias, hongos y levaduras las cuales indican presencia de materia

orgánica en descomposición, entonces, para que el agua sea destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene (Orellana, 2005).

#### **2.2.5.5. Composición del agua de lluvia**

El agua de lluvia no es absolutamente pura. Cuando se inicia una precipitación, las primeras gotas arrastran el polvo atmosférico y microorganismos que encuentran, cargándose de impurezas (Mariscal, 1992)

Las masas de aire absorben gran cantidad de contaminantes cuando se mueven de un lugar a otro en la atmosfera, lo que afecta el contenido de gases solubles y el de partículas en el agua de lluvia y en la niebla. Estos gases y partículas se estabilizan por medio de transformaciones físicas y químicas, antes de ser depositados sobre la superficie terrestre (Ávila, 1999).

El agua de lluvia por lo general, es de alta calidad, sin embargo, al originarse en las nubes puede recoger contaminantes presentes en la atmosfera, por lo que su calidad varía dependiendo de las condiciones del entorno donde se genera (Ospina – Zuñiga y Ramirez, 2014).

#### **2.2.5.6. Consumo de agua**

El acceso al agua está concebido como un derecho que comprende a la salud, un medio ambiente sano, la alimentación y la vivienda adecuada. Una persona necesita al menos 30 litros diarios de agua para satisfacer sus necesidades básicas en el altiplano (MMYA NB 689, 2004).

En el siguiente cuadro se muestra los niveles de acceso al agua según su disponibilidad y su efecto en la salud (OMS, 2009)

## CONSUMO DE AGUA SEGÚN OMS

Nivel de servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Sin acceso (Cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/hab/día)	Más de 1000 o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no se puede garantizar Higiene no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso Básico (la cantidad promedio no puede superar 20 l/hab/día)	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – se debe asegurar Higiene – el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible (es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente)	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/hab/día)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo asegurado Higiene – la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada (se debe asegurar también la lavandería y el baño)	Bajo

Nivel de servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/Hab/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo – se atienden todas las necesidades Higiene – se deben atender todas a las necesidades	Muy bajo

*Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2009*

### a. Dotación media diaria

Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día (MMYA NB 689, 2004).

La dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada.

### DOTACIÓN MEDIA DIARIA (L/HAB/D)

Zona	Población (habitantes)		
	Hasta 500	De 501 a 2000	De 2001 a 5000
Del altiplano	30 - 50	30 -70	50 - 80
De los valles	50 - 70	50 - 90	70 - 100
De los llanos	70 - 90	70 - 110	90 - 120

*Fuente: Norma Boliviana NB 689, 2004*

Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la base de estudios que identifiquen la demanda de agua, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la población.

Para sistemas nuevos de agua potable, en zonas rurales, como caso excepcional, donde la disponibilidad de agua no llegue a cubrir la demanda de la población (consumo restringido) se debe calcular la dotación en base al caudal mínimo de la fuente y la población futura (MMYA NB 689, 2004).

#### **b. Dotación futura de agua**

La dotación media diaria puede incrementarse de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua y por la disponibilidad de la misma (MMYA NB 689, 2004).

Por lo que, se debe considerar en el proyecto una dotación futura para el período de diseño, la misma que debe ser utilizada para la estimación de los caudales de diseño.

#### **2.2.5.7. Factores que influyen en el consumo de agua**

El consumo de agua está determinado por diferentes factores entre ellas tenemos: climático (temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa) social (habitantes por vivienda, composición familiar, nivel de educación

estrato social), económico (ingreso familiar, precio del agua, consumo histórico) y cultural (estilo de vida de las personas, valores, educación, normas y modelos sociales, creencias asociadas a la conducta ambiental), los cuales de acuerdo con el contexto, tendrán diferentes relevancias (Manco et. el., 2012).

## **2.2.6. Sistemas de cosecha de agua de lluvia**

Se puede definir a la captación pluvial como la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento; existiendo una gran variedad de técnicas de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. El concepto hace énfasis en el almacenamiento del agua de lluvia para su utilización posterior (García, 2012).

### **2.2.6.1. Desarrollo histórico**

Desde sus comienzos el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, por ello el valle de los ríos es el lugar escogido para establecer las primeras civilizaciones, allí el hombre aprende a domesticar los cultivos y con ello encuentra la primera aplicación al agua de lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia debido a la presencia permanente del agua superficial.

Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta comenzó el desarrollo de formas de captación de aguas de lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico. Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones, sin embargo, estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. (Ballen et. al., 2006).

Existen diversos estudios que indican que la captación de agua de lluvia constituye una solución para el abastecimiento del agua, ya que se ha convertido en una medida amigable, económica y ecológica y se puede

concluir que las técnicas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción agrícola y en satisfacer las necesidades domésticas, con un uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta (Ballen et. al., 2006).

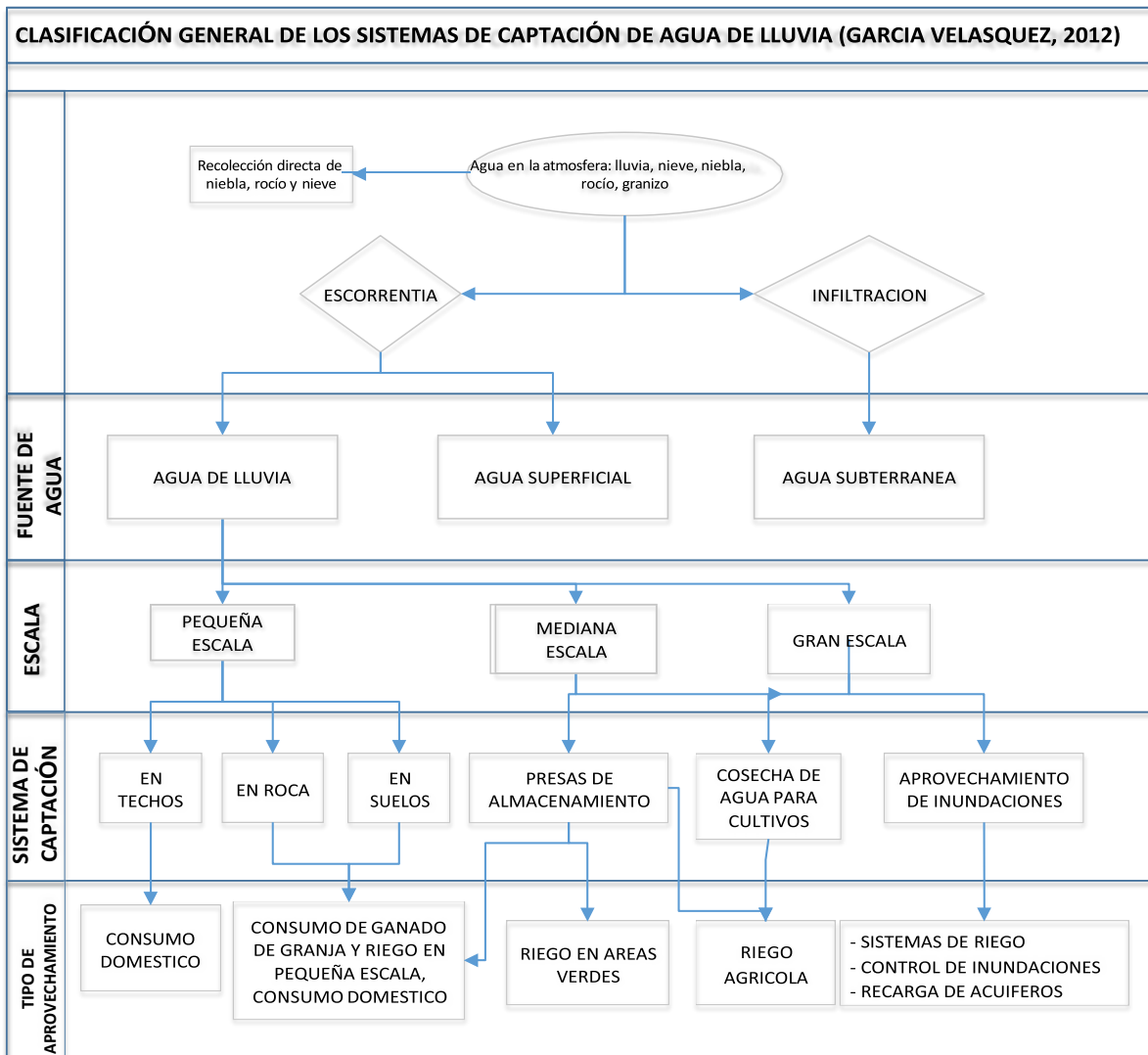
Debido al crecimiento de la población en los siglos XIX y XX, en las ciudades grandes se ha desarrollado sistemas de suministro de agua por medio de la acumulación de agua superficial para luego ser distribuida por una red centralizada de agua centralizada, asimismo, se ha recurrido a la explotación del agua subterránea como fuente de agua, sin embargo, en estos casos ya no se toma en cuenta la posibilidad de utilizar los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia u otros sistemas alternativos.

A inicios del siglo XXI, la presión por la necesidad del agua debido a que las poblaciones se han extendido a áreas semiáridas del mundo, por lo que en periodos secos el agua no es suficiente para el abastecimiento de estas poblaciones, ocasionando conflictos sociales por la escasez de agua y/o altos costos.

Según Ballen (2006), sólo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento, por lo que la documentación generada sobre esta tecnología se da en estas situaciones que se dan por la necesidad de agua, la disponibilidad de recursos como precipitación y dinero, además de las condiciones ambientales de cada región.

#### **2.2.6.2. Clasificación de los sistemas de cosecha de agua de lluvia**

Existe una gran variedad de técnicas de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, en la siguiente figura se muestra la clasificación en función de la escala con la que cuenta el sistema.



Clasificación general de los sistemas de captación de agua de lluvia  
(García Velásquez, 2013)

### 2.2.6.3. Impactos y limitaciones del sistema de captación por techos

La implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia presenta los siguientes impactos y limitaciones (Duran, 2010).

En cuanto al impacto se puede anotar los siguientes puntos:

#### a. Factor económico:

- ✓ El agua de lluvia es un recurso gratuito y fácil de mantener.



- ✓ La reducción en el consumo de agua potable entubada reduce la tarifa que pagan las familias.
- ✓ Con el sistema de cosecha de agua de lluvia, los agricultores en épocas de sequía, disponen de agua para cultivos, animales y quehaceres domésticos.
- ✓ Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- ✓ No requiere energía para la operación del sistema.
- ✓ Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.
- ✓ Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.

**b. Factor medio ambiental:**

- ✓ Conservación de las reservas de agua potable en acuíferos.
- ✓ Podría disminuirse el 50% de la contaminación por detergentes y suavizantes al utilizar agua de lluvia ya que ella es más blanda.
- ✓ Ahorro energético en potabilización, desalinización o transporte de agua.

**c. Factor Social:**

- ✓ El agua se mantiene en óptima calidad para su uso.
- ✓ Alta calidad físico química del agua de lluvia.
- ✓ Agua limpia en comparación con las otras fuentes de agua por mantenerse en menor contacto con contaminantes.

En cuanto a las limitaciones del sistema de captación de agua de lluvia pueden mencionarse los siguientes:

- Dependen directamente de la cantidad de precipitación que se presente en la zona, además del lugar y del área de captación.
- Alto costo inicial en algunos casos, lo cual limita su implementación por parte de familias de bajos recursos económicos.

#### **2.2.6.4. Componentes del sistema de captación por techos**

El sistema de captación de agua de lluvia por techos está compuesto por los siguientes componentes (UNATSABAR, 2003):

- ✓ Captación, que es la superficie destinada a la recolección del agua de lluvia para un fin beneficioso.
- ✓ Recolección y conducción, es un conjunto de canaletas y tuberías situadas en las partes más bajas del área de captación con el objeto de recolectar el agua de lluvia y de conducirla hacia el interceptor.
- ✓ Interceptor, es un dispositivo dirigido a captar las primeras aguas de lluvia correspondiente al lavado del área de captación y que pueden contener impurezas de varios orígenes.
- ✓ Almacenamiento, es el depósito destinado a la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia con fines domésticos.

#### **d. Captación**

El área de captación es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Las áreas que se utilizan para este fin son los techos de las casas, los mismos que deben tener una pendiente del 3 al 5% como mínimo en dirección a las canaletas de recolección.

Los techos pueden ser de diferentes materiales como plancha metálica galvanizada, tejas de arcilla, paja, etc., sin embargo, el más recomendable para la captación de agua de lluvia es el de lámina galvanizada, debido principalmente a su impermeabilidad y a su efecto esterilizante con los rayos del sol (Ramírez, 2016).

Los materiales en la construcción de techos, menos recomendables para la captación de agua de lluvia son la paja y los techos de barro, los cuales presentan una alta tasa de infiltración, además de que, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, aunque esto no incide en la salud de los consumidores, si es que este color amarillento tiene una intensidad baja (UNATSABAR, 2001).

Uno de los puntos más importantes en el área de captación es que el agua entre lo menos posible en contacto con la tierra cuando su finalidad es el uso doméstico y consumo humano, además los materiales con que están contruidos la cubierta o techos de viviendas u otros, no deben desprender olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua de lluvia o alterar la eficiencia de los sistemas de filtración o tratamiento.

#### **e. Recolección y conducción**

Este componente del sistema está integrado por un conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que tienen el objetivo de recolectar el agua de lluvia y de conducirla hasta el lugar del almacenamiento u otro dispositivo a través de bajadas con tubos de PVC (Anaya y Juan, 2007).

Estas canaletas están adosadas en los bordes más bajos de la cubierta o techo, en donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo. Asimismo, se deben instalar con una pendiente no muy grande de tal manera que permitan la conducción hasta los bajantes.

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, además de no contaminar con compuestos orgánicos e inorgánicos. Los materiales utilizados son aluminio, lámina galvanizada, PVC y recursos maderables de cada región (Anaya y Juan, 2007).

#### **f. Interceptor**

La limpieza de la superficie de captación es de gran valor para conservar el agua recolectada lo más limpia posible y a futuro no tener problemas en el filtrado y tratamientos posteriores.

El agua que entra a las cisternas o tanques de almacenamiento de un sistema de cosecha pluvial para uso potable debe estar completamente libre de materia orgánica, polvo y basura.

Por esta razón, es recomendable instalar un dispositivo que intercepte y desvíe este tipo de contaminantes, evitando que entren al tanque de

almacenamiento, es decir, el interceptor tiene el objetivo de captar las primeras aguas de lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas, (UNATSABAR, 2004).

El interceptor consta de un tanque al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas y que permite el almacenamiento de las lluvias iniciales degeneradas por suciedad y escombros, y esta agua puede ser utilizada para regar las plantas.

Algunos de los filtros más usados son el filtro de gravedad, malla y arena, filtro de arena y filtro de carbón activado.

#### **g. Almacenamiento**

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el periodo de sequía (UNATSABAR, 2004).

Este componente es el de mayor costo en el sistema de cosecha pluvial y pueden ser cisternas o tanques. La actividad que realiza el tanque, es almacenar el agua captada para luego distribuirla en la unidad familiar, puede ser colocado sobre el suelo o subterráneo, dependiendo de las condiciones económicas de los habitantes.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua de lluvia a ser empleados, pueden ser los siguientes de acuerdo al tipo de material (Vizúete, 2015):

- ✓ Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
- ✓ Ferro-cemento para cualquier volumen.
- ✓ Concreto reforzado para cualquier volumen.
- ✓ Polietileno PVC.

### **2.2.6.5. Consideraciones para el diseño**

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 existe un sistema de abastecimiento; considerando así a la captación de agua como un sistema alternativo o complementario de distribución de agua.

En varios lugares del mundo con alta o media precipitación y no se cuenta con la bastante cantidad y calidad de agua para empleo humano, se logra recurrir al agua de lluvia como fuente de racionamiento.

## **3. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **3.1. Localización y Ubicación**

#### **3.1.1. Ubicación política**

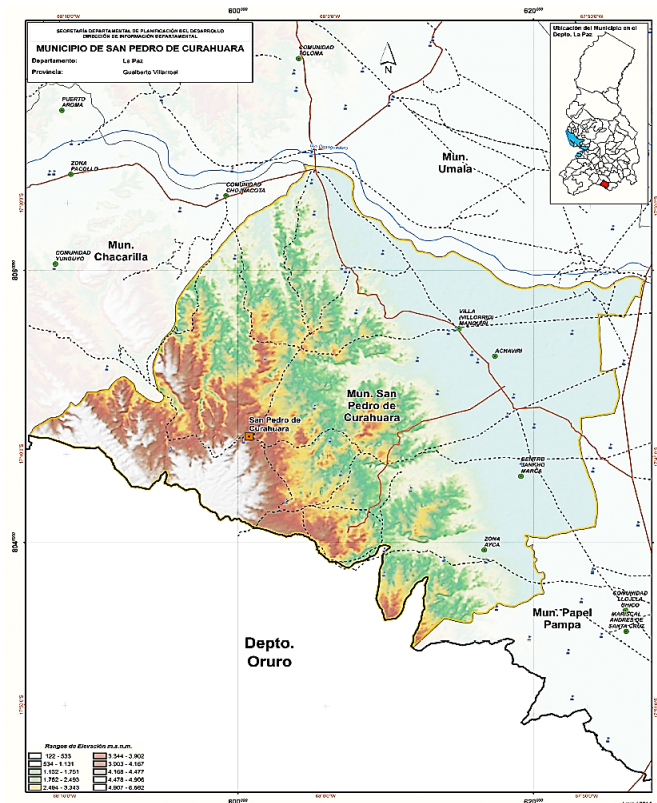
El presente trabajo de aplicación fue realizado en el municipio de San Pedro de Curahuara de la provincia Gualberto Villarroel del departamento de la Paz.

#### **3.1.2. Límites territoriales**

El municipio de San Pedro de Curahuara tiene como límites:

Al Norte, limita con la provincia Aroma, al este con el departamento de Oruro, al sur con el departamento de Oruro, al este con la provincia Pacajes.

## Límites del municipio de San Pedro de Curahuara



### 3.1.3. Ubicación geográfica

El territorio del Municipio se encuentra comprendido entre las coordenadas planas de: 600927.51 E y 8047829.75 N (sistema de referencial mundial W.G.S. 84 zona 19 Universal Transversa Mercator), con una extensión de 726 Km<sup>2</sup>. Así mismo, se encuentra a una altura promedio de 3,897 m.s.n.m.

### 3.1.4. Características fisiográficas del municipio

#### 3.1.4.1. Características fisiográficas y topográficas

El Altiplano es una extensa planicie de aproximadamente 110.000 km<sup>2</sup>, formada en el Cenozoico, a partir del comienzo del levantamiento de la Cordillera Oriental.

En general, en el Altiplano existe un control estructural sobre el relieve, ya que los anticlinales se encuentran formando serranías y los sinclinales concuerdan con valles y zonas topográficamente bajas. Gran parte del Altiplano forma extensas superficies niveladas, cubiertas por depósitos lagunares, glaciales y aluviales recientes, situadas entre 3.600 y 4.100 metros sobre el nivel del mar. Esta meseta se halla interrumpida por serranías aisladas, cuyas alturas varían entre 4.000 y 5.350 m.s.n.m.

Con respecto a la altitud, el municipio de San Pedro de Curahuara se caracteriza por ser una región de tierras altas con un rango altitudinal que fluctúa de 3.800 hasta los 4.100. m.s.n.m. Según la carta topográfica hoja Nro. 5940-III del Instituto Geográfico Militar IGM (2003).

#### **3.1.4.2. Suelos y uso actual**

El recurso económico que define en gran parte la economía comunaria campesina es el tamaño y uso de la tierra; algunas comunidades del Municipio de San Pedro de Curahuara cuentan con un potencial importante para su actividad agropecuaria.

Los suelos de las planicies presentan diferencias marcadas con relación a las tierras ubicadas en la puna y serranías. La diferencia está dada por el rendimiento del cultivo, depende de las características del tipo de suelo en cada comunidad, en especial la pendiente del suelo, este aspecto es importante ya que en suelos con presencia de pendientes leves a planas el desarrollo del cultivo es mucho mejor, sin embargo, en terrenos con alta pendiente el desarrollo del cultivo no es óptimo.

Cabe mencionar que el cultivo de mayor preferencia en las comunidades próximas al pie de serranías o intermedias por el microclima existente, está dado por la producción de tubérculos, y algunas hortalizas en un porcentaje bajo (papa, oca, haba, cebada, papaliza, etc.) en cambio en los sectores altos y próximos a la cordillera, el cultivo está orientado a tubérculos y cereales (papa imilla, oca, quinua, cañahua, etc.).

### **3.1.4.3. Vegetación**

Actualmente la cobertura vegetal en los suelos es escasa y rala, predominan especies vegetales de escasa altura y follaje, principalmente de la familia Poaceae entre las que se distinguen la chilliwa (*Festuca dolichophylla*), el ichu (*Stipa ichu*), cebadilla (*Bromus unioloides*), entre las herbáceas bajas se destacan el sillu sillu (*Lachemilla diplophylla*), el chiji blanco (*Distichlis humilis*), algunas de estas especies son usadas como forraje para la crianza de ganado, existen también la thola que también son utilizados como combustible (leña) con fines domésticos, esta actividad causa la pérdida de la cobertura vegetal acelerando la degradación de los suelos.

### **3.1.4.4. Clima**

El clima en el Municipio San Pedro de Curahuara varía según la altitud, la latitud geográfica y las características fisiográficas. En general, es frígido existiendo dentro ellas climas locales y microclimas propios en áreas menores, pues cerros, montañas, suelos vegetación y otros componentes del medio dan paso a este tipo de condiciones.

El altiplano sur, constituye un conjunto de fenómenos meteorológicos dentro de la provincia Gualberto Villarroel, teniendo una gran importancia para el desarrollo de proyectos agropecuarios. La provincia se caracteriza por presentar un clima frío, seco y de estepa con características de vegetación xerofítica.

Las fluctuaciones diarias de temperatura son amplias, de igual manera la radiación solar, presencia de helada y sequías que condicionan principalmente las actividades productivas de la región.

#### **a. Temperatura**

Las mayores temperaturas se presentan en los meses de septiembre a marzo, registrándose elevadas temperaturas de lo normal. Debido al fenómeno niño que provoco diversos cambios climatológicos que tuvo su



incidencia en la producción agrícola. Es así que se establece que el promedio de temperatura mínima es de  $-5.8^{\circ}\text{C}$  y la máxima es de  $19.9^{\circ}\text{C}$ .

En general por la ubicación geográfica a lo largo del año se registran bajas temperaturas.

#### **b. Precipitación**

La precipitación pluvial, se concentra en los meses de: diciembre, enero, febrero y marzo, el resto de los meses presenta una precipitación poco significativa.

Una vez iniciada la época de lluvias estas se presentan con tormentas y rayos muy perjudiciales para la actividad ganadera.

Los meses más lluviosos en la región se registran desde el mes de diciembre con 67,8 mm a febrero con 66,9 mm de precipitación, la temporada seca comienza en el mes de mayo hasta el mes de septiembre donde se registran precipitaciones menores 10 mm según la estación meteorológica de Patacamaya (SENAMHI)

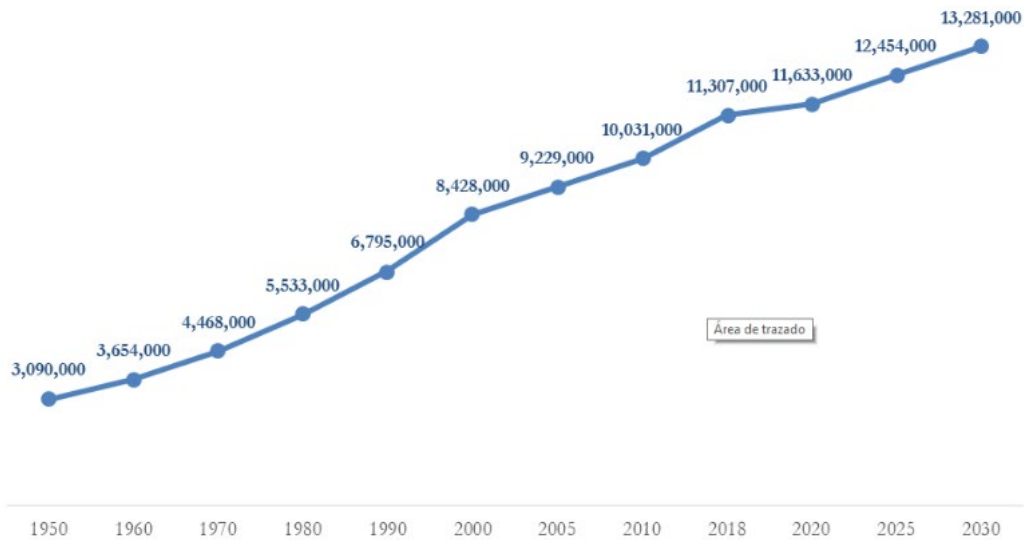
#### **c. Vientos**

Los vientos provienen de dos direcciones principales los cuales varían según las estaciones del año. En verano los vientos tienen una dirección de Sur Este y Nor Este, en la época de otoño e invierno tienen una dirección de Nor Oeste y Sur Oeste y en la época de primavera tienen una dirección variable tanto del oeste Nor Oeste y Nor Este (SENAMHI)

### **3.1.5. Estudio de las demandas de agua**

Bolivia cuenta con una población de aproximadamente 12.006.031 habitantes, según proyecciones a 2022, de los cuales 49,83% son mujeres y 50,17% son hombres. Por área de residencia, 70,63% de la población vive en el

área urbana y 29,37% en el área rural, según el Instituto Nacional de Estadística (INE).



**Fuente:** Instituto nacional de estadística (INE). Estimación de población a 2030.

La economía nacional tiene como base el aprovechamiento de los recursos naturales existentes en las diferentes vertientes hidrográficas, que presentan enormes contrastes en la precipitación media anual, desde menos de 200 mm al sudoeste del país, hasta más de 5,000 mm en el Chapare al este de Cochabamba. Los datos meteorológicos muestran que la cuenca amazónica tiene el doble de precipitación que la del Río de La Plata y cuatro veces más que la del Altiplano (Balance Hídrico de Bolivia, 1980/81 – 2015/2016).

La constitución política del Estado Plurinacional de Bolivia dedica un capítulo entero al agua, en el que dice, entre otras cosas, que “es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes”. Datos de la OMS (Organización Mundial para la Salud) muestran que sólo el 50% tiene agua limpia en Bolivia. De hecho hay distritos incluso en la ciudad de El Alto, urbe directamente adyacente a La Paz y de casi

900.000 habitantes, que no tienen agua potable.

De igual manera en el área rural del departamento de La Paz, dentro de las provincias Gualberto Villarroel, existen Comunidades dentro de los cuales la población no tiene acceso a agua potable, las pocas fuentes de agua se encuentran a distancias considerables de sus hogares, sin mencionar la escasez de agua para riego y ganado que presentan.

Según los datos del INE (2012), el municipio de SAN PEDRO DE CURAHUARA dentro de la provincia Gualberto Villarroel cuenta con:

POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	8.858	4.697	4.161
0-3	494	269	225
4-5	242	128	114
6-19	2.349	1.203	1.146
20-39	2.450	1.329	1.121
40-59	1.886	1.037	849
60-más	1.437	731	706
Población de 18 años y más (población en edad de votar)	6.137	3.279	2.858
Población femenina de 15-49 años en edad fértil	2.078		
Población en viviendas particulares	8.809	4.670	4.139
Población en viviendas colectivas	48	26	22
Población sin vivienda en tránsito	1	1	0
Población sin vivienda que vive en la calle	0	0	0
Población empadronada inscrita en el Registro Cívico	8.799	4.666	4.133
Población empadronada que tiene Cédula de Identidad	8.185	4.343	3.842

Actividad económica	Total	Hombres	Mujeres
Total	5.605	3.142	2.463
Agricultura, ganadería, caza, pesca y sicultura	4.387	2.369	2.018
Minería e Hidrocarburos	6	6	0
Industria manufacturera	130	89	41
Electricidad, gas, agua y desechos	0	0	0
Construcción	146	140	6
Comercio, transporte y almacenes	424	229	195
Otros servicios	280	177	103
Sin especificar	175	104	71
Descripciones incompletas	57	28	29
Disponibilidad de energía eléctrica			Total
Total			2.828
Tiene			1.248
No tiene			1.580
Procedencia del agua que utilizan en la vivienda			Total
Total			2.828
Cañería de red			192
Pileta pública			145
Carro repartidor (aguatero)			1
Pozo o noria			2.302
Lluvia, río, vertiente, acequia			161
Otro (lago, laguna, curichi)			27

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

Las comunidades involucradas en el trabajo de aplicación dentro del Municipio son las siguientes:

COMUNIDADES	FUENTE DE AGUA	ACTIVIDAD ECONÓMICA	POBLACIÓN ACTUAL	PREVISIÓN DE CRECIMIENTO	DEMANDA DE AGUA
<b>HUAYHUASI</b>	Lluvia, Rio y Pozos manuales o noria	Agricultura y Ganadería	75 (Viven Actualmente)	100 (a 10 años)	7500 l/d. Actual 10000 l/d. 10años
<b>HUARACHI</b>	Lluvia, Rio y Pozos manuales o noria	Agricultura y Ganadería	30 (Viven Actualmente)	40 (a 10 años)	3000 l/d. Actual 4000 l/d. 10años
<b>CONCHARI</b>	Lluvia, Rio y Pozos manuales o noria	Agricultura y Ganadería	84 (Viven Actualmente)	110 (a 10 años)	8400 l/d. Actual 11000 l/d. 10años

La población actual que se toma en cuenta en el cuadro, es la que reside dentro de la comunidad, por lo general conformada por gente adulta a adulta mayor, los mismos aseguran que sus hijos migraron a la ciudad por falta de oportunidades, de esta manera se realiza un cálculo de previsión de crecimiento al 1.4% anual, según los últimos datos del INE, aumentando a los familiares ausentes.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona debe consumir en promedio 100 litros de agua para satisfacer las necesidades tanto de consumo, higiene, etc. Sin embargo la realidad en Bolivia es muy diferente, más aun en las áreas rurales y de escasas de agua, como el caso de las comunidades mencionadas que no llegan ni a 80 litros de consumo día.

Por tanto para el cálculo de la demanda de agua se va tomar en cuenta lo recomendado por la Organización mundial de la salud, 100 litros de agua por persona al día, sin embargo se aclara que por las condiciones de la calidad y escasas de agua en la zona, resulta difícil muchas veces cumplir con estos parámetros.

#### **3.1.5.1. Vertientes**

En el municipio se encuentran vertientes en las serranías y en las laderas de los cerros, las mismas son utilizadas principalmente para consumo humano y consumo animal.

#### **3.1.5.2. Pozos superficiales y profundos**

Los pozos superficiales se encuentran a un nivel que varía desde 2 a 8 metros de profundidad y los pozos profundos que varían de 40 a 80 metros de profundidad.

#### **3.1.5.3. Cosecha de aguas**

En el municipio tan solo podemos observar una laguna natural ubicada en San Pedro de Curahuara.

Las Qutañas, reservorio de agua, se pueden construir para almacenar agua de lluvia y así tener el abastecimiento regular de agua para el consumo del ganado durante la época seca.

Las principales fuentes de agua para el consumo humano y animal dentro del municipio provienen de ríos, pozos, tanques de agua, y qutañas. Por lo que el agua dulce no purificada existe en pozos que son utilizados para el consumo del ser humano teniendo como consecuencia problemas en la salud de los pobladores.

Por otro lado, la mayoría de los ríos y pozos que se encuentran dentro la jurisdicción municipal son temporales con caudales significativos solo en época de vegetación en el municipio.

#### **3.1.5.4. Desarrollo de actividades agropecuarias**

Los datos del Censo Nacional de Vivienda y Población del año 2012, muestran que la principal actividad económica es la agricultura, ganadería, caza, pesca y siviltura; representando un 78,3% de la población en edad según la actividad económica.

El sector pecuario en el municipio de San Pedro de Curahuara es un pilar económico fundamental en la unidad productiva familiar. Además de contribuir en la Seguridad y Soberanía Alimentaria, también constituye un generador de ingresos familiares ya sea por la venta de ganado o subproductos como la leche y carne y algunos derivados como el queso.

Se la realiza de forma tradicional y se basa en la crianza de animales bovinos, ovinos y en menor grado están los camélidos, porcinos, animales menores como aves de corral y granja, cuy y conejos, también se lleva a cabo la crianza de burros como animales de carga.

La forma de alimentación de todas estas especies es el pastoreo, sin embargo, en épocas de estiaje suplementan con forraje que ellos mismos cultivan, compensando las deficiencias de alimento al ganado.

Asimismo, en el municipio en los últimos años se implementó en algunas áreas del municipio, el mejoramiento de ganado además de estudios de parasitología llevadas a cabo por Plan Internacional, Save the children, Fundación Sartawi Sayariy y Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra – SENASAG con el objetivo de mejorar la producción pecuaria.

### **3.1.5.5. Especies y población ganadera**

En relación a las especies y población ganadera, dentro del municipio la mayor cantidad de tenencia de animales es de tipo ovino con 41.394 cabezas representando el 82,7 % del total, seguida por la crianza de animales de especie bovina con 6.017 cabezas, en te que representa el 12 %, y en tercer lugar, se encuentran las aves de granja.

Sin embargo, la importancia de las diferentes especies no radica en el número de animales que poseen, sino en los beneficios que se obtienen de ellos, es por ello que es el ganado bovino es el que representa mayor importancia económica para los productores por la venta animal vivo, un porcentaje mínimo que elaboran queso, tracción animal y por el costo de su

carne, en el caso del ganado ovino se obtiene beneficios por la venta de carne, venta del animal vivo, obtención de lana y cuero, además de un rápido crecimiento de los mismos.

Las otras especies de menor importancia como los porcinos, camélidos y animales menores como los conejos, cuyes, aves de corral y de granja, se destina en su mayoría para el autoconsumo y en menor grado para la venta, de estas especies se aprovecha su carne y en el caso de las especies avícolas también los huevos y carne de conejo.

## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Material y equipo logístico de campo y gabinete

Los materiales de campo utilizados en campo fueron los siguientes: Una cámara fotográfica, un GPS navegador, equipo de computación e impresión, Wincha de 50 metros, bolígrafos y lápices, tablero de anotación, libreta de campo, mapa general, hojas bond.

### 3.2.2. Información básica

La principal información necesaria para el presente estudio son los datos de la precipitación pluvial.

#### PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (2005 – 2019)

No	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	2005	72.50	55.20	24.40	10.50	0.00	0.00	0.00	2.00	43.90	43.40	55.20	43.10	350.20
2	2006	154.20	52.30	28.60	8.40	0.00	0.00	0.00	5.80	28.10	34.30	63.70	51.60	427.00
3	2007	55.30	57.30	96.10	0.00	5.00	0.00	19.00	3.30	16.30	7.00	18.00	41.30	318.60
4	2008	130.10	13.30	18.20	8.50	0.00	2.00	0.00	0.00	2.30	21.20	18.50	75.70	289.80
5	2009	48.40	88.30	17.10	13.50	0.40	0.00	0.00	0.00	7.20	10.00	41.70	67.00	293.60
6	2010	50.80	77.60	18.10	21.70	18.30	0.00	0.00	2.80	7.70	37.80	0.00	49.60	284.40

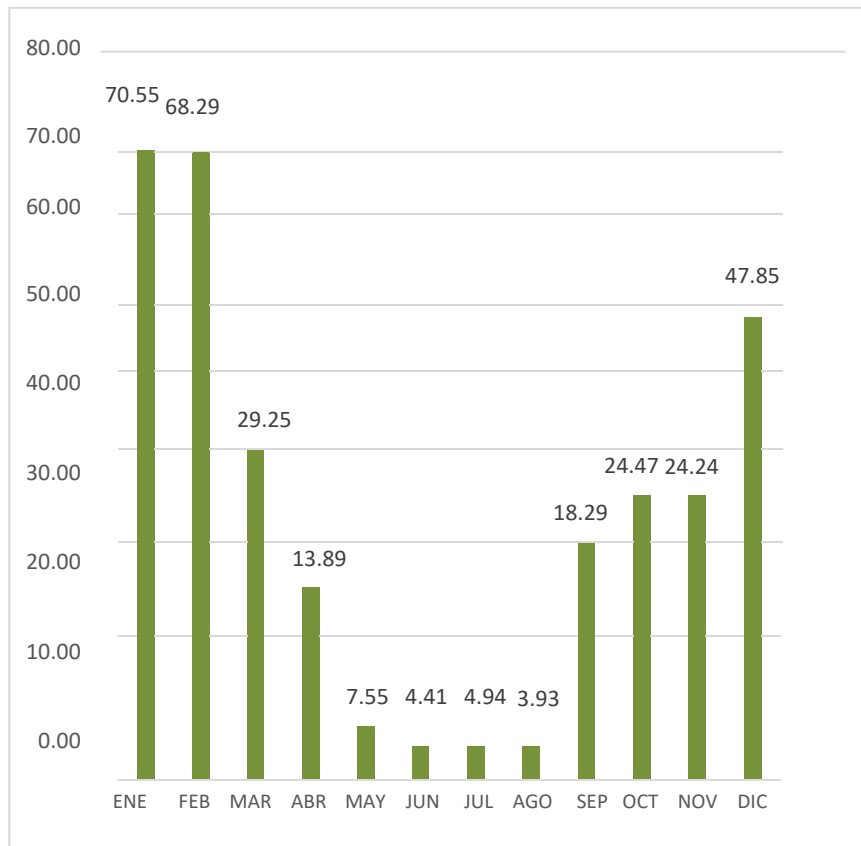
7	2011	25.10	153.90	65.00	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	17.60	5.00	7.20	57.00	334.60
8	2012	69.80	76.30	18.10	19.50	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	2.50	13.00	44.10	245.10
9	2013	45.30	58.60	10.90	0.00	13.90	22.10	3.00	30.30	0.00	19.50	10.00	44.30	257.90
10	2014	105.40	25.60	29.10	6.70	8.60	0.00	2.70	4.80	26.70	9.00	2.10	39.30	260.00
11	2015	80.80	52.20	40.20	43.60	7.10	0.00	1.70	21.20	24.30	42.20	50.60	47.80	411.70
12	2016	71.60	88.90	0.00	32.30	0.00	17.80	3.20	2.10	3.80	47.30	3.50	56.60	327.10
13	2017	33.90	38.00	52.00	22.40	54.30	0.00	2.90	0.00	50.20	28.00	10.50	33.60	325.80
14	2018	77.00	89.10	17.20	0.00	0.00	20.50	22.60	0.00	1.50	31.30	5.60	57.00	321.80
15	2019	38.10	97.70	3.70	21.20	1.80	3.80	3.90	0.00	44.80	28.50	64.00	9.80	317.30
<b>Promedio mensual</b>		<b>70.55</b>	<b>68.29</b>	<b>29.25</b>	<b>13.89</b>	<b>7.55</b>	<b>4.41</b>	<b>3.93</b>	<b>4.94</b>	<b>18.29</b>	<b>24.47</b>	<b>24.24</b>	<b>47.85</b>	<b>317.66</b>

*Fuente: Estacion Meteorologica de Ayo Ayo (SENAMHI)*

Los datos de la pluviometría, fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Ayo Ayo ubicado en el municipio de Ayo Ayo perteneciente a la provincia Aroma del departamento de La Paz, comprendido entre las coordenadas planas de: 605511.27 E y 8109755.62 N (sistema de referencial mundial W.G.S. 84 zona 19 Universal Transversa Mercator), por ser la estación más cercana al sitio de estudio con una distancia de 58,60 Km del municipio de San Pedro de Curahuara, y pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Estado Plurinacional de Bolivia. Además de que se encuentra operando actualmente.

Con los datos obtenidos de la estación de Ayo Ayo, desde el año 2005 hasta el año 2019, se puede calcular, la precipitación media mensual y se puede saber en qué meses la precipitación es mayor, con esto es posible calcular la cantidad de litros de agua que se podrá almacenar cada mes, dependiendo de los metros cuadrados efectivos de la superficie de captación.





**PLUVIOMETRIA MENSUAL DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE CURAHUARA (MM)**

### **3.3. Metodología**

En el presente trabajo de aplicación, se utiliza el método de la caracterización que se asocia con eventos descriptivos para identificación de componentes, acontecimientos, actores, actuaciones y contexto de experiencia, hecho o actividades (Sánchez, 2011).

#### **3.3.1. Diagnóstico de la situación actual**

Para el cumplimiento de los objetivos se utiliza la investigación descriptiva. Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2014), “los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno

que se someta a un análisis". Su propósito es la medición, evaluación o recolección de información sobre conceptos, dimensiones, características o componentes de los eventos a investigar, por lo que, la presente investigación maneja una metodología mixta involucrando las siguientes técnicas:

- a) Investigación documental, que incluye la revisión de documentos, bibliografía relevante entre ellos: textos, revistas, tesis, informes monográficos, planes de desarrollo, planes operativos anuales y publicaciones electrónicas para complementar la información. Acudiendo a instituciones gubernamentales y no gubernamentales.
- b) Encuestas, entrevistas y/o observación directa, mediante entrevistas abiertas de forma individual a los comunarios.

Esta técnica tiene como base la medición de características y variables del fenómeno social que se estudia y supone la existencia de unos postulados sobre las relaciones entre esas variables que se derivan desde el marco conceptual y la especificidad del problema analizado y que sigue una lógica deductiva (Vivanco M., 2005 y Bernal, 2006).

- c) Asimismo, se ha utilizado el muestreo no probabilístico por conveniencia (Bernal, 2010), el cual es una técnica comúnmente usada consistente en seleccionar una muestra de la población por el hecho de que sea accesible, es decir, los individuos empleados en la investigación se seleccionan porque están fácilmente disponibles y porque sabemos que pertenecen a la población de interés, no porque hayan sido seleccionados mediante un criterio estadístico, sin embargo, este muestreo tiene como consecuencia la imposibilidad de hacer afirmaciones generales con rigor estadístico sobre la población. Por lo que se ha tomado una sola unidad familiar como unidad representativa de una comunidad, teniendo la unidad seleccionada características similares a las demás.

### 3.3.2. Diseño técnico del sistema de cosecha pluvial

Para el diseño del sistema de cosecha de agua de lluvias se ha seguido el siguiente proceso de trabajo.

- a. Evaluación del área de captación de aguas de lluvia.
- b. Determinación de la demanda de agua en la unidad productiva agropecuaria.
- c. Cálculo de la oferta de la precipitación pluvial en una unidad familiar en un techo tipo.
- d. Determinación del volumen del interceptor.
- e. Determinación del componente de almacenamiento de agua de lluvia.

### 3.4. Variables de respuesta

En la caracterización del sistema objeto del presente trabajo de aplicación, se propusieron variables relacionadas con características o atributos técnicos del sistema, organizacionales de las comunidades y los productores respectivamente.

#### VARIABLES DE RESPUESTA

Objetivos	Variables
Descripción Sistemas de cosecha pluvial existentes en el municipio de San Pedro de Curahuara	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipo de cubierta</li><li>• Área de captación</li><li>• Volumen de tanque de almacenamiento</li><li>• Tipo de tanque de almacenamiento.</li><li>• Utilización de filtros de agua</li><li>• Usos del agua de lluvia</li></ul>

Objetivos	Variables
Factores de estudio	Factor económico Factor social Factor ambiental.
Demanda de agua de la unidad productiva	Requerimiento anual de agua para: - Consumo humano. - Por unidad familiar
Características del agua de lluvia.	Parámetros físicos de la calidad del agua de lluvia Parámetros químicos de la calidad del agua de lluvia Parámetros biológicos de la calidad del agua de lluvia.
Diseño de sistema de cosecha de agua de lluvia	Datos pluviométricos del municipio. Tipo de cubierta Área de captación Volumen de tanque de almacenamiento Tipo de tanque de almacenamiento. Usos del agua de lluvia

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4. SECCIÓN PROPOSITIVA**

##### **4.1. Descripción de los sistemas de cosecha de agua por techos en el municipio.**

Según el trabajo de diagnóstico realizado en el municipio, en los últimos

10 años el Gobierno municipal ha implementado sistemas de cosecha de agua pluvial por techos en comunidades que son parte de su jurisdicción.

Asimismo, en la evaluación de campo se identificó que las viviendas en todas las comunidades, son precarias de adobe y de ladrillo donde la cubierta es de paja y de calamina ondulada. Los sistemas fueron instalados en cubiertas calamina de entre 20 a 30 m<sup>2</sup>.

Por otro lado, la instalación de los sistemas de cosecha de agua de lluvia se ha realizado en comunidades rurales pequeñas con carencia de agua potable, y con viviendas familiares dispersas de hasta más de 150 metros de distancia entre unidades familiares.

Según el diagnóstico realizado, los usuarios del sistema manifiestan su conformidad con el proyecto, sin embargo, no lo consideran un sistema de agua primario sino complementario o alternativo el cual abastece de agua a las unidades familiares.

Todos los sistemas presentan una característica común, que fueron implementados en comunidades con deficiencia de fuentes de agua tanto para consumo humano como para consumo animal.

#### COMUNIDADES CON SISTEMA DE COSECHA PLUVIAL

Comunidad	No de sistemas de cosecha pluvial	Localización		
		X	Y	Altitud m.s.n.m.
HUAYHUASI	10	603325	8040394	3893
HUARACHI	7	613404	8143666	3826
CONCHARI	5	595543	8047516	3943

*Fuente: Elaboración propia*

Los sistemas fueron implementados en cada unidad familiar.

#### **4.1.1. Tipos de sistemas de cosecha de agua de lluvia**

En el municipio se han identificado dos tipos de sistemas de cosecha de agua de lluvia, considerando sus características de construcción, materiales empleados en las mismas, fuente de financiamiento para su ejecución y usos del agua de lluvia.

##### **4.1.1.1. Tipo 1. Sistema de cosecha pluvial rustico para uso domestico**

El sistema se caracteriza por los siguientes aspectos:

- La implementación de los sistemas fue promovida por el Gobierno Municipal de San Pedro de Curahuara, mediante la dotación de tanques de polietileno con una capacidad de 3500 litros por cada unidad familiar.
- Para la dotación del tanque, no se realizó ningún tipo de medición de requerimientos de agua para consumo humano o animal, asimismo, la capacidad del volumen del tanque no fue determinada de acuerdo a la superficie de captación disponible en cada unidad familiar.
- No se tiene identificado claramente los componentes de un sistema convencional, por ejemplo, no cuentan con el interceptor del agua de las primeras lluvias.



**SISTEMA DE COSECHA PLUVIAL RUSTICO PARA USO DOMESTICO**

- El emplazamiento del sistema en el sitio definitivo además de la instalación de accesorios y mantenimiento fue realizado por los beneficiarios de los proyectos, por lo que las canaletas, tubería de conducción, área de captación es contraparte del productor o familia beneficiada.
- Estos sistemas generalmente no cuentan con filtros, aunque algunos de los beneficiarios han colocado filtros de tela rústicos o mallas para retener hojas, basura, etc.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA TIPO 1

Componente	Características
Área de captación	La captación de agua de lluvia es realizada a través del techo de calaminas galvanizadas. El área de captación varía entre 20 m <sup>2</sup> a 80 m <sup>2</sup> .
Recolección y conducción	La recolección del sistema se realiza a través de canaletas de acero galvanizado y la conducción hacia el tanque de almacenamiento mediante tubería de 2" de PVC.
Interceptor de primeras aguas de lluvia	El sistema no cuenta con un separador de primeras lluvias. En su caso, algunas familias colocaron telas como filtros del agua antes de ingreso del agua al tanque.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 3500 litros y es de polietileno.
Plataforma de Hormigón para tanque	Para el emplazamiento del tanque se ha construido una plataforma de hormigón.
Componente	Característica
Cubierta de protección del tanque	En un 50% el sistema cuenta con una cubierta rústica para la protección del tanque.

- Este sistema fue implementado en las comunidades de Huayhuasi.
- En este tipo, el principal problema identificado es la falta del componente separador de primeras aguas de lluvia, y como consecuencia el polvo, la suciedad proveniente de los techos, con las primeras lluvias pasan al tanque de almacenamiento para consumo humano, incidiendo negativamente en la calidad de agua disponible.
- Por otra parte, se ha promovido como contraparte del beneficiario la cubierta de protección del tanque de almacenamiento, lo cual no tiene

incidencia para el mejoramiento de la calidad del agua.

#### **4.1.1.2. Tipo 2. Sistema de cosecha pluvial convencional para consumo humano**

La característica principal de este sistema es que fue diseñado para proveer agua potable en la unidad familiar, es decir, como fuente de agua potable.

- El sistema fue construido por una empresa privada con financiamiento del Gobierno central y el gobierno municipal.



#### **SISTEMA DE COSECHA PLUVIAL CONVENCIONAL PARA CONSUMO HUMANO**

- El sistema fue instalado en unidades familiares de las comunidades de Huarachi y Conchari, no cuenta con un sistema de agua entubada debido a la falta de fuentes de agua para consumo humano.
- Según las entrevistas realizadas en las comunidades, el sistema es de mucha importancia debido a que se ha convertido en la principal fuente de agua para consumo humano en la población concentrada en las comunidades.
- Este sistema cuenta con los siguientes componentes: Área de captación, recolección, interceptor, tanque de almacenamiento y pileta de distribución.
- La contraparte de los beneficiarios fue el área de captación, las canaletas de recolección y el sitio de emplazamiento del sistema.
- Uno de los mayores problemas que se tiene en este sistema, debido principalmente a que no se cuenta con un dispositivo de purga, es la



dificultad para realizar la limpieza del interceptor de primeras aguas de lluvia, y según los usuarios del sistema, no se tienen herramientas para el desacople del componente. De acuerdo a observaciones realizadas in situ, generalmente no se cumplen con las labores de limpieza del separador de primeras lluvias.

- El sistema fue diseñado para una familia promedio de 5 integrantes.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA TIPO 2.

Componente	Características
Área de captación	La captación de agua de lluvia es realizada a través del techo de calaminas galvanizadas
Recolección y conducción	La recolección del sistema se realiza a través de canaletas de acero galvanizado y la conducción hacia el tanque de almacenamiento mediante tubería de 2" de PVC.
Interceptor de primeras aguas de lluvia	El sistema cuenta con un separador de primeras lluvias., que consiste en un tanque de 50 litros, asimismo, cuenta con una rejilla en la entrada hacia la bajante de PVC para evitar la entrada de solidos a la tubería de conducción.
Componente	Características
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 5.000 litros y es de polietileno tipo PEAD.
Plataforma de Hormigón para tanque	Para el emplazamiento del tanque se ha construido una plataforma de hormigón.
Distribución	Para la distribución del agua se tiene una pileta y la base hormigón ciclópeo
Cubierta de protección del tanque	No se tiene la cubierta de protección.

*Fuente: Elaboración propia*



**PILETA DE DISTRIBUCIÓN**

#### **4.1.1.3. Principales problemas de los sistemas de cosecha**

Los principales problemas encontrados en la implementación de los sistemas de cosecha de agua de lluvia son los siguientes:

- La falta o deficiente mantenimiento del sistema, es una característica común en todos los sistemas encontrados en las comunidades objeto de estudio.
- No existe o es deficiente el cuidado del agua, ya que el sistema no cuenta con filtros o separador de primeras aguas, y si existe ésta ya no funciona o se tiene dificultades técnicas para el mantenimiento por parte de los productores o familias beneficiarias.
- El sistema principalmente es utilizado como una fuente de uso alternativo para consumo doméstico, incluyendo los sistemas proyectados para el consumo animal.

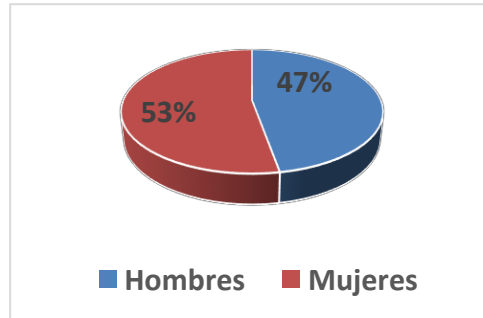
#### **4.2. Determinación de los requerimientos de agua y oferta de precipitación pluvial para consumo en la unidad familiar**

##### **4.2.1. Demanda de agua por unidad familiar**

En el presente trabajo de aplicación se determina el requerimiento de agua en una unidad de producción agropecuaria o unidad familiar, para consumo doméstico o humano.

#### 4.2.1.1. Cálculo de la demanda de agua para uso domestico

El suministro de agua es una necesidad esencial para todas las personas. La determinación de la cantidad necesaria es uno de los primeros pasos para proveer el suministro.



#### PORCENTAJE DE INTEGRANTES SEGÚN GÉNERO EN UNA UNIDAD FAMILIAR

La determinación de la población para el diseño del sistema de cosecha de agua de lluvia, se ha realizado mediante un censo poblacional en una comunidad que ha sido elegida por muestreo por conveniencia, en el cual se ha determinado que en promedio una unidad familiar está compuesto por 4.82 integrantes.



#### PORCENTAJE DE INTEGRANTES POR EDADES EN UNA UNIDAD FAMILIAR

Por otro lado, se ha determinado que una unidad familiar está compuesta por 66% de personas mayores a 15 años, 27% de personas entre 6 a 15 años y 7% de niños menores a 5 años.

En consecuencia, se ha determinado como población base a 4,82

integrantes por familia y considerando una tasa de crecimiento del 0.5% en un tiempo de duración del sistema de 20 años, se tiene una población de diseño de 5,30 personas por unidad familiar.

Donde: 
$$P_f = P_o * (1 + \frac{i}{100} * t)$$

Pf = Población de diseño

Po = Población inicial

i = tasa de crecimiento

t = tiempo de duración del sistema

Tipo de uso	Consumo (Lts/hab/dia) por fuente		
	Sistema de agua entubada tradicional o pozo	Sistema de cosecha de agua de lluvia	Total
Bebida	0	2	2
Preparación de alimentos	0	4	4
Lavado de utensilios	2	4	6
Lavado de ropa	4	0	4
Aseo personal	4	0	4
Eventuales	4	2	6
Limpieza de artefactos sanitarios	4	0	4
<b>Sub total</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración propia en base a NB 689 y datos de campo

La demanda de agua para uso doméstico, es la cantidad de agua que una persona necesita diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo, es decir, la alimentación, cocina, aseo personal y otros; se ha podido establecer un consumo doméstico diario de agua por individuo, según una evaluación de la rutina de los productores en las comunidades evaluadas, además se consideró el mínimo necesario según la Norma Boliviana NB 689 en el altiplano, demanda que se encuentra descrito en el anterior cuadro.

En el presente estudio se plantea el sistema como un medio complementario o medio alternativo a la época de estiaje, por lo que se asume como demanda de agua por persona y por día de 12 litros de agua.

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Donde.

Di = Demanda mensual (m3)

Nu = Número de usuarios que se benefician del sistema

Nd = Número de días del mes analizado

Dot = Dotación (L/persona/día)

Tomando en cuenta este parámetro, se calcula la demanda mensual de agua.

#### DEMANDA DE AGUA COMPLEMENTARIA

Mes	Días	Demanda diaria/persona (Litros)	Demanda mensual (m3)
Enero	31	12	1.97
Febrero	28	12	1.78
Marzo	31	12	1.97
Abril	30	12	1.91

Mayo	31	12	1.97
Junio	30	12	1.91
Julio	31	12	1.97
Agosto	31	12	1.97
Septiembre	30	12	1.91
Octubre	31	12	1.97
Noviembre	30	12	1.91
Diciembre	31	12	1.97

*Fuente: Elaboración propia*

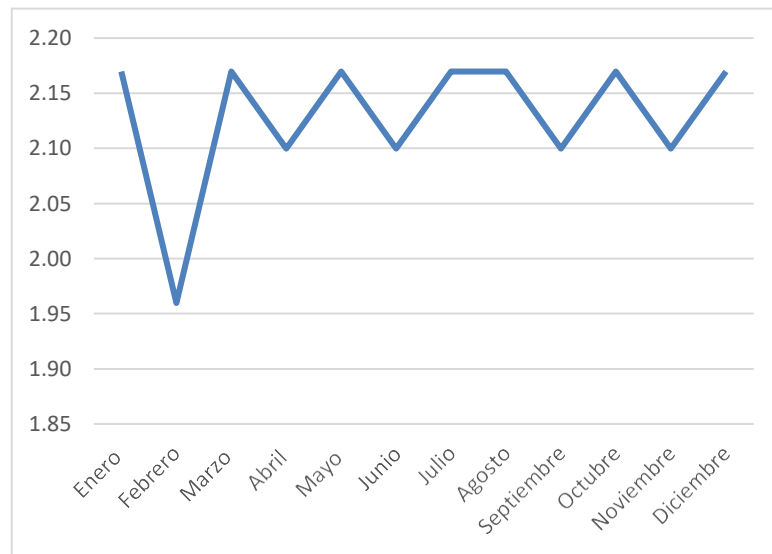
A esto se añade un 10% de pérdidas durante su almacenamiento por concepto de evaporación y por la poca eficiencia de materiales para la conducción y en el uso del tanque de almacenamiento.

#### DEMANDA DE AGUA FINAL

Mes	Días	Demanda diaria/persona (Litros)	Demanda mensual (m <sup>3</sup> )	Perdidas por evaporación y otros (m <sup>3</sup> )	Demanda mensual total (m <sup>3</sup> )
Enero	31	12	1.97	0.20	2.17
Febrero	28	12	1.78	0.18	1.96
Marzo	31	12	1.97	0.20	2.17
Abril	30	12	1.91	0.19	2.10
Mayo	31	12	1.97	0.20	2.17
Junio	30	12	1.91	0.19	2.10
Julio	31	12	1.97	0.20	2.17
Agosto	31	12	1.97	0.20	2.17
Septiembre	30	12	1.91	0.19	2.10
Octubre	31	12	1.97	0.20	2.17
Noviembre	30	12	1.91	0.19	2.10
Diciembre	31	12	1.97	0.20	2.17

*Fuente: Elaboración propia*

Se determina que la demanda mensual total de agua en una unidad familiar por el sistema de cosecha de agua de lluvia es  $2,13 \text{ m}^3$ .



DEMANDA MENSUAL TOTAL POR UNIDAD FAMILIAR ( $\text{m}^3$ )

#### 4.2.2. Oferta de precipitación pluvial

##### 4.2.2.1. Cálculo de oferta de agua mensual

Para el diseño de los sistemas de cosecha de agua de lluvia y teniendo en cuenta la precipitación media mensual de 15 años, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para el área de techo promedio de viviendas rurales del municipio de San Pedro de Curahuara.

Para el cálculo se estima que el techo del 98% de las viviendas rurales, actualmente es de lámina galvanizada, es decir, calamina ondulada, por lo que se asume el Coeficiente de escorrentía igual a 0.9.

## OFERTA DE AGUA DE LLUVIA MENSUAL

Mes	PP media (mm)	Oferta de agua (m <sup>3</sup> )
ENERO	70.55	6.88
FEBRERO	68.29	6.66
MARZO	29.25	2.85
ABRIL	13.89	1.35
MAYO	7.55	0.74
JUNIO	4.41	0.00
JULIO	3.93	0.00
AGOSTO	4.94	0.00
SEPTIEMBRE	18.29	1.78
OCTUBRE	24.47	2.39
NOVIEMBRE	24.24	2.36
DICIEMBRE	47.85	4.67
<b>ANUAL</b>	<b>317.66</b>	<b>29.68</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Por otra parte, de acuerdo al diagnóstico realizado en las comunidades del municipio, se tiene un área de captación promedio de 108.4 m<sup>2</sup>. De acuerdo a la superficie de captación se tiene una oferta de agua de lluvia anual de 29.68 m<sup>3</sup>.

A partir de los datos, se procedió al cálculo de la oferta de agua de lluvia mensual por techos de viviendas, el cual se describe en el anterior cuadro.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

A<sub>i</sub> = Oferta de agua en el mes "i" (m<sup>3</sup>)

P<sub>pi</sub> = Precipitación promedio mensual (L/m<sup>2</sup>)

C<sub>e</sub> = Coeficiente de escorrentía

A<sub>c</sub> = Área de captación (m<sup>2</sup>)



Sin embargo, debido a las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, tamaño de la gota, inclinación del área de captación, evaporación fricción, a las pérdidas en las canaletas y en el almacenamiento, y a la ineficiencia del sistema de captación, se afecta el volumen de la oferta disponible para no sobredimensionar el sistema (Palacio, 2010).

Entonces, se calcula la oferta teniendo en cuenta las pérdidas, y los resultados mensuales se muestran en el siguiente cuadro.

#### OFERTA DE AGUA DE LLUVIA EFECTIVA

Mes	PP media (mm)	Oferta de agua con pérdidas (m <sup>3</sup> )
ENERO	70.55	6.77
FEBRERO	68.29	6.55
MARZO	29.25	2.80
ABRIL	13.89	1.33
MAYO	7.55	0.72
JUNIO	4.41	0.00
JULIO	3.93	0.00
AGOSTO	4.94	0.00
SEPTIEMBRE	18.29	1.75
OCTUBRE	24.47	2.35
NOVIEMBRE	24.24	2.32
DICIEMBRE	47.85	4.59
<b>ANUAL</b>	<b>317.66</b>	<b>29.19</b>

*Fuente: Elaboración propia*

En el siguiente gráfico, se observa el comportamiento de la oferta de agua de lluvia en techos de calamina cuya área de captación es de 108.4 m<sup>2</sup>, en los doce meses del año.



#### 4.4. Planteamiento de un sistema de cosecha de agua de lluvia

##### 4.4.1. Componentes del sistema

El sistema propuesto comprende los siguientes componentes:

- a) Área de captación
- b) Recolección y conducción
- c) Interceptor de primeras aguas
- d) Filtro de sólidos grandes
- e) Almacenamiento

##### 4.4.1.1. Área de captación

Una vez inspeccionada el área de implementación de los sistemas de cosecha de agua pluvial y en base a entrevistas realizadas a los productores o habitantes de las comunidades objeto de estudio, se ha determinado que el área de captación debe cumplir las siguientes características:

Área de captación mínima:	108.4 m <sup>2</sup>
Material del techo:	Lámina galvanizada o calamina ondulada
Coefficiente de escurrimiento:	0.9

El área de techo de lámina galvanizada o calamina ondulada debe tener como mínimo una superficie de 108,4 m<sup>2</sup>., considerando que el sistema de cosecha de agua de lluvia, es un medio alternativo de aprovechamiento de agua de lluvia.

Para calcular el volumen de agua que podemos captar al año utilizamos la ecuación:

$$\text{Area del tech} = a * b$$

a = Ancho de la vivienda

b = Largo de la vivienda

La oferta de agua anual fue calculada en un acápite anterior.



TIPO DE TECHOS EN VIVIENDAS

#### 4.4.1.2. Recolección y conducción

De acuerdo con el diagnóstico realizado, generalmente las viviendas rurales cuentan con canaletas de lámina galvanizada.

Mediante las canaletas de lámina galvanizada se recolecta el agua de lluvia, las mismas que tienen las siguientes medidas generalmente: tiene una

base 10 cm, una altura de 12 cm., tiene un largo aproximado de 6 a 10 metros. El soporte para las canaletas por debajo de las orillas de los techos es de una solera de acero de 1\*1/8" a cada metro de distancia.

Para el presente diseño del sistema se ha considerado las canaletas de lámina galvanizada, las cuales son fáciles de obtener, son durables y no son muy costosas.

#### **4.4.1.3. Filtro**

El filtro ayuda a retener hojas y otros sólidos que no fueron retenidos en las etapas anteriores, es decir, se encargan de retirar elementos de gran tamaño que pueden arrastrar la lluvia.

El filtro será construido de una T de PVC de 45° en cuyo interior se colocará una malla milimétrica, dispositivo que retendrá los sólidos evitando su ingreso al tanque de almacenamiento.

#### **4.4.1.4. Interceptor de primeras aguas de lluvia**

Este dispositivo es ampliamente recomendado por mantener la calidad del agua de lluvia, además de ser fácil de implementar. Es así que, este implemento ha logrado que la turbiedad del agua disminuya en un 50% con un separador usado adecuadamente (García, 2012).

Para determinar el volumen del interceptor de las primeras aguas de lluvia se ha realizado el cálculo con los datos del área de captación y el volumen de agua de lluvia requerido, cuyo objetivo es el lavado de cada metro cuadrado del techo de calamina ondulada, es decir, en el diseño del sistema se toma 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 interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de bajantes unidos a la canaleta. El tanque interceptor cuenta con una válvula de flotador que permita su llenado, cuyo objetivo es reducir la fuerza del chorro

sobre la pelota que genera mezcla del agua separada con la que se va a aprovechar.

Para el cálculo del volumen del interceptor se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

$V_{int}$  = Volumen del interceptor (m<sup>3</sup>)

$A_{techo}$  = Area de captación (m<sup>2</sup>)

Entonces:

$$V_{int} = \frac{(1 \text{ L/m}^2 * 108,4)}{1000} \quad V_{int} = 0.11 \text{ m}^3 ; \quad V_{int} = 108 \text{ litros}$$

El volumen obtenido del tanque sedimentador no es comercial, por lo que se instalará dos tanques de 50 litros cada uno, el cual tendrá un sistema de válvula flotante que indicará el nivel requerido 50 litros, por lo que, en la propuesta de diseño, se dispuso la implementación de dos separadores de primeras aguas de lluvia en cada vivienda o techo, cada uno de 50 litros.

#### **4.4.1.5. Tanque de almacenamiento**

La estimación del volumen del tanque de almacenamiento de agua de lluvias para el uso doméstico en una unidad productiva agropecuaria o unidad familiar del municipio de San Pedro de Curahuara, se realizó sustrayendo la oferta acumulada y la demanda acumulada por cada mes.

El volumen máximo de almacenamiento es de 9,82 m<sup>3</sup> para el mes de marzo, por lo tanto, este valor será el volumen del tanque de almacenamiento, sin embargo, se asume un valor comercial para el volumen del tanque, es decir, un tanque de polietileno de 10.000 litros de capacidad.

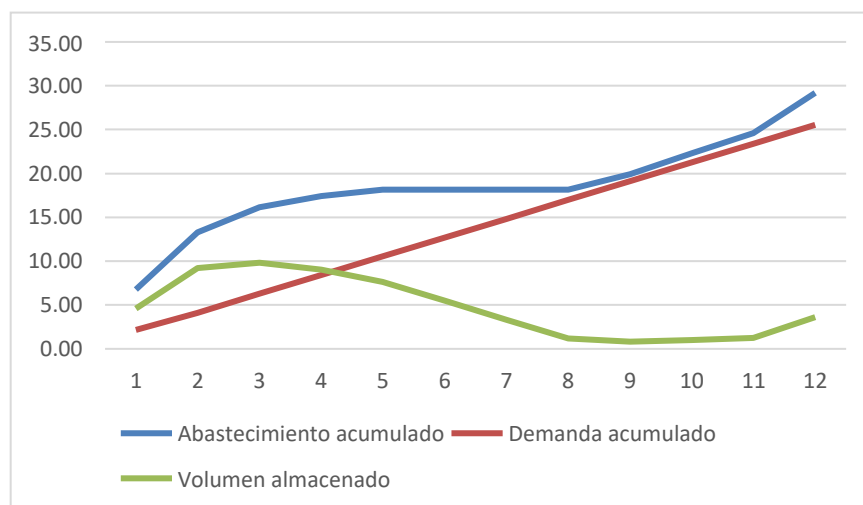
### CALCULO DE VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Abastecimiento (m <sup>3</sup> )				Demanda (m <sup>3</sup> )		Vi (m <sup>3</sup> /mes)
Mes	Días	Parcial	Abastecimiento acumulado	Parcial	Demanda acumulada	Volumen almacenado
Enero	31	6.77	6.77	2.17	2.17	4.60
Febrero	28	6.55	13.31	1.96	4.13	9.19
Marzo	31	2.80	16.12	2.17	6.30	9.82
Abril	30	1.33	17.45	2.10	8.40	9.05
Mayo	31	0.72	18.17	2.17	10.57	7.61
Junio	30	0.00	18.17	2.10	12.67	5.51
Julio	31	0.00	18.17	2.17	14.84	3.34
Agosto	31	0.00	18.17	2.17	17.01	1.17
Septiembre	30	1.75	19.93	2.10	19.11	0.82
Octubre	31	2.35	22.28	2.17	21.28	1.00
Noviembre	30	2.32	24.60	2.10	23.38	1.22
Diciembre	31	4.59	29.19	2.17	25.55	3.64

*Fuente: Elaboración propia*

El material del tanque de almacenamiento propuesto para la construcción del sistema es de plástico reforzado con fibra de vidrio tipo cisterna horizontal con base debido principalmente a que este material tiene una mejor conservación de la calidad del agua en comparación al tanque de hormigón armado, y a su forma horizontal, es decir, a la altura menor el cual se adapta a la altura de los techos.

En el siguiente gráfico, se observa que el abastecimiento es suficiente para la satisfacción de la demanda de agua en una unidad familiar con 5.3 integrantes como promedio, considerando que se tiene una precipitación anual de 317.66 mm, un área de captación de 108.4 m<sup>2</sup>, un tanque de almacenamiento de polietileno con fibra de vidrio con capacidad de 10.000 litros, un tanque interceptor de 100 litros de capacidad.



#### ABASTECIMIENTO VS. DEMANDA Y VOLUMEN ALMACENADO

##### 4.4.1.6. Resultados finales

A continuación se detalla los resultados de cálculo y dotación prevista en una unidad familiar obtenido de la cosecha de agua:

NRO DE INTEGRANTES	REQUERIMIENTO DE AGUA (PERSONA/DÍA)	PROMEDIO (FAMILIA/DÍA)
5 PERSONAS	12 LITROS	63,6 LITROS

ÁREA DE CAPTACIÓN	OFERTA DE AGUA DE LLUVIA (ANUALMENTE)	VOLUMEN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO
108,4 m <sup>2</sup>	29.19 m <sup>3</sup>	10.000 litros

## 5. CONCLUSIONES

- La cosecha de agua de lluvia en la unidad familiar es una alternativa de abastecimiento para satisfacer las necesidades de agua durante todo el año, siendo la principal fuente de agua para algunas familias del municipio.
- El agua de lluvia recolectada por techos de calamina en las unidades familiares rurales del municipio, es una fuente alterna de agua para consumo humano y su calidad dependerá del cumplimiento de las normas

- básicas de higiene en el sistema. Lo cual asegura que los habitantes del municipio de San Pedro de Curahuara tengan agua en cantidad, calidad y de forma continua para satisfacer sus necesidades de consumo doméstico.
- Se han identificado cuatro tipos de sistemas de cosecha de agua de lluvia implementados en el municipio de San Pedro de Curahuara, de los cuales tres fueron diseñadas para uso doméstico o consumo humano y uno para consumo de ganado bovino. Sin embargo, se determinó que este último no solamente se utiliza con el fin de proveer agua al ganado bovino, sino también para consumo humano.
  - Los sistemas de cosecha de agua de lluvia de unidades familiares o unidades productivas agropecuarias presentan una característica común, el tanque es de polietileno, aunque con diferentes volúmenes de almacenamiento, es decir, entre 3.500 a 7.500 litros.
  - El principal problema en los sistemas descritos, es la falta de separador de primeras aguas de lluvia y/o su deficiente o nulo mantenimiento, lo que ocasiona que el agua recolectada no sea segura para su consumo, especialmente en los tanques de hormigón armado.
  - Se ha determinado un requerimiento de agua de 12 litros por persona/día, llegando a constituir un promedio de 63,6 litros de agua por familia/día que está compuesta por 5,3 integrantes. Se concluye que para un área de captación de 108,4 m<sup>2</sup> se tiene una oferta de agua de lluvia de 29.19 m<sup>3</sup> anualmente en una unidad familiar del municipio de San Pedro de Curahuara.
  - El volumen del tanque de almacenamiento planteado es de 10.000 litros, cuya capacidad es para el aprovechamiento alternativo de abastecimiento de agua para consumo humano o doméstico.
  - Mediante el presente trabajo de aplicación se plantea el diseño de un sistema de cosecha pluvial para una unidad familiar de 5 integrantes como promedio, con un consumo de agua diario alternativo de 12 litros por persona/ día.



- Se plantea un Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia con los siguientes componentes: Área de captación de 108.4 m<sup>2</sup>, Recolección de agua a través de canaletas de acero galvanizado, conducción del agua de lluvia a través de tubería de PVC de 2", un filtro de sólidos grandes en la tubería de conducción, asimismo una separador de primeras aguas o interceptor con una capacidad de 100 litros de capacidad, y por último un tanque de polietileno con fibra de vidrio con una altura máxima de 1.45 m. y con una capacidad de 10.000 litros de volumen de almacenamiento.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar acciones de socialización o capacitación a los usuarios para el mantenimiento y limpieza de los componentes del sistema por parte del Gobierno local.
- Promover el mejoramiento de las viviendas familiares a través de políticas que mejoren las condiciones de vida de las unidades familiares del municipio.
- Para el consumo humano del agua de lluvia del sistema, se recomienda hervir el agua durante 3 a 5 minutos para que se convierta en agua segura. La otra opción es agregarle cloro en la medida justa, de manera tal que tenga un cloro residual entre 0,2 a 1,0 mg/l, según recomienda la Norma Boliviana NB 512 (Agua Potable – Requisitos).
- Se recomienda realizar estudios sobre la potabilización del agua de lluvia en el tanque de almacenamiento del sistema.
- En caso de no realizar dichos estudios de potabilización del agua de lluvia, se recomienda utilizarla para: limpieza de ambientes, consumo animal, uso en la agricultura.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilo M. et. al. 1998. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. España.
- Anaya G. y Juan M. J. 2007. Sistemas de captación y aprovechamiento del

- agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano en América Latina y el Caribe. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 149 p.
- Bateman. A., 2007. Hidrología básica y aplicada.
  - Bernal A., 2006. Metodología de la investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Ed. Pearson Educación. México.
  - Castro, L. (1987). Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima. Perú Editorial CEPIS.
  - Chereque W., 1989. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.
  - Constitución Política del Estado del Estado Plurinacional de Bolivia. Art. 20. Art. 373. Art. 374. Bolivia. 25 ene. 2009.
  - Duran P., 2010. Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Instituto Politécnico Nacional. México.
  - INE (Instituto Nacional de Estadística). 2013. Censo Agropecuario Estado Plurinacional de Bolivia, 2013. Bolivia.
  - FAO, 2016. “Yaku Takay”: Comunidades del altiplano sur cuentan con 34 sistemas de cosecha de agua de lluvia (en línea, sitio web). Consultado 16 jun. 2021. Disponible en <https://www.fao.org/bolivia/noticias/detail-events/es/c/413184/>.
  - García Velázquez, J. H., 2012. Sistema de Captación y Aprovechamiento Pluvial para un Eco barrio de la Cd. de México.: Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
  - Hernández R., Fernández C., Baptista P., 2014. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill. 657 p.
  - Ley del medio ambiente No 1333. Art. 38. Gaceta oficial. Bolivia. 27 abril 1992.
  - Ley de municipalidades No 2028. Art. 3. Gaceta oficial. Bolivia. 28 octubre 1999.

- Ley marco de la madre tierra y desarrollo integral para vivir bien No 300. Art. 27. Gaceta oficial. Bolivia. 15 oct. 2012.
- Madigan, M.; Martinku, J. y Parker, J. (1997). Biología de los microorganismos. Madrid. España. Editorial PRENTICE HALL.
- Ministerio de Servicios y Obras Públicas, 2004. Agua Potable - Requisitos. Norma Boliviana NB 512. Bolivia.
- Ministerio de Servicios y Obras Públicas, 2004. Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable. Norma Boliviana NB 689. Bolivia
- Quiroz, E., 1989. Aplicación del enfoque de sistemas en la investigación pecuaria. In: Seminario Taller Aplicación Sistemas de producción Campesino. Series GIA/4. Santiago de Chile. 169 p.
- Ramirez, J. 2016. Captación de agua de lluvia y uso eficiente del agua para la producción agropecuaria. Instituto Mexicano de tecnología del Agua. México.
- Rodier, J. (1989). Análisis de las aguas. Barcelona. España. Editoriales OMEGA
- Sánchez U, A., 2011. Manual de redacción académica e investigativa: cómo escribir, evaluar y publicar artículos. Católica del Norte Fundación Universitaria. Medellín – Colombia.
- UNATSABAR, 2003. Especificaciones técnicas Captación de agua de lluvia para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. Lima – Perú.
- Vivanco M., 2005. Muestreo estadístico. Diseño y aplicaciones. Editorial Universitaria S.A. Santiago de Chile.
- Vizuete, W. 2015. Diseño de un sistema de recolección y tratamiento básico de agua lluvia para una casa unifamiliar. Universidad de la Americas. Santiago de Chile.

## 8. ANEXOS